

КАК БЫЛО ПОЛУЧЕНО ИЗОБРАЖЕНИЕ ОБРАТНОЙ СТОРОНЫ ЛУНЫ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ



МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 385

Г. Б. БОГАТОВ

Как было получено изображение обратной стороны Луны



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1961 ЛЕНИНГРАД

В брошюре рассматриваются принципы действия устройств, позволивших получить изображение обратной стороны Луны. В ней рассказывается о роли радиоэлектроники в завоевании Космоса, о том как была сфотографирована Луна с борта межпланетной автоматической станции, как эта фотография Луны была преобразована в электрические сигналы, и о тех задачах, которые решали советские ученые и инженеры при передаче и приеме этих сигналов.

Брошюра рассчитана на широкие круги радиолюбителей

Богатов Геральд Борисович

Как было получено изображение обратной стороны Луны

Редактор *С. И. Катаев* Техн. редактор *К. П. Воронин*

Сдано в набор 19/VIII 1960 г. Подписано к печати 24/X 1960 г.
Т-12599. Бумага 84×108 1/32 3,23 печ. л. Уч.-изд. л. 3.5.
Тираж 50 000 (2-й завод 10001—50000 экз.) Заказ 51
Цена 14 коп.

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПЕРВЫЕ ШАГИ В КОСМОС

До недавнего времени изучение межпланетного пространства производилось посредством наблюдений с поверхности Земли. Дальнейшее углубление наших знаний было осуществлено при проведении исследований в верхних слоях атмосферы и за пределами ее. Первые научные наблюдения в верхних слоях атмосферы производились с помощью высотных ракет, однако использование ракет оказалось недостаточно эффективным, ввиду кратковременности их полета. Использование искусственных спутников Земли для производства соответствующих исследований значительно расширило наши представления о Земле и Космосе.

Успешный штурм Космоса был начат 4 октября 1957 г. запуском советского искусственного спутника Земли. Советский искусственный спутник был первым небесным телом, созданным человеком. Вслед за первым в нашей стране были запущены второй (3 ноября 1957 г.), а затем и третий (15 мая 1958 г.) искусственные спутники Земли.

Исследования, проведенные с помощью искусственных спутников и высотных геофизических ракет, позволили получить сведения о химическом составе верхней атмосферы, ее плотности, температуре и ионизации, о свойствах земного магнетизма, составе космического излучения, о существовании вокруг Земли зон повышенной радиации, состоящих из заряженных частиц. Исследования позволили сделать выводы о вероятности столкновений спутников и ракет с метеорами и микрометеорами, о влиянии перегрузок и невесомости на организм животных.

Получены важные данные, необходимые для расчета линий радиосвязи, конструирования аппаратуры и многих других практических и научных целей.

Запуск искусственных спутников и исследования, произведенные при этом, подготовили создание и запуск межпланетных космических ракет и космических кораблей-спутников.

Первая в мире советская межпланетная космическая ракета, богато оснащенная научной аппаратурой, была отправлена в сторону Луны 2 января 1959 г. Наряду со многими другими измерениями очень важное измерение было выполнено на борту ракеты магнитометром. Магнитометр был предназначен для обнаружения магнитного поля Луны и для измерения магнитного поля Земли на различных расстояниях от нашей планеты.

12 сентября 1959 г. была запущена вторая советская космическая ракета, достигшая 14 сентября поверхности Луны. Эта ракета решала приблизительно такие же задачи, как и первая. Она несла на борту аппаратуру для регистрации магнитных полей Земли и Луны, изучения зон повышенной радиации, регистрации космических лучей, измерения плотности межпланетного газа в пространстве между Землей и Луной, подсчета числа соударений с метеорами и микрометеорами. Повторение той же программы было сделано для уточнения ранее полученных результатов.

Третья космическая ракета была запущена в Советском Союзе 4 октября 1959 г. Она была снабжена сложным комплексом научной и радиотехнической аппаратуры, системой ориентации, устройствами программного управления бортовой аппаратурой, системой автоматического регулирования теплового режима внутри станции и источниками питания. На борту ракеты был установлен комплекс фототелевизионной аппаратуры, предназначенной для фотографирования невидимой с Земли части поверхности Луны и последующей передачи этого изображения на Землю.

Чем же привлекает Луна внимание исследователей?

Луна является ближайшим к нам небесным телом. Поэтому она из всех тел солнечной системы наиболее доступна для непосредственного наблюдения. Несомненно, она будет первым небесным телом, на которое ступит нога человека. Раскрытие тайн Луны и окололунного пространства позволит приблизиться к раскрытию загадки происхождения как самой Луны, так и нашей родной планеты. Не приходится сомневаться и в том,

что в дальнейшем Луна будет использована людьми для ряда различных практических целей.

Вполне возможно, что Луна или отдельные участки ее поверхности будут приспособлены для длительного пребывания людей и ведения различных наблюдений как Земли и Солнца, так и других космических тел. Так как Луна практически лишена атмосферы, то наблюдения за большими и малыми телами Вселенной будут во много раз более эффективными, чем аналогичные наблюдения, производимые с поверхности Земли. Лунные станции обогатят астрономическую науку такими сведениями, которые во много раз превзойдут то, что было накоплено за сотни лет наблюдений с земной поверхности.

Изучение Луны, начатое великим итальянским ученым Галилео Галилеем в 1609 г., производилось до 1959 г. только с поверхности Земли. Год от года совершенствовались наблюдательные оптические инструменты. В своих первых наблюдениях Галилей использовал подзорную трубу, дававшую трехкратное увеличение, а сегодня увеличение телескопов достигает 1 000. Но возможности оптических инструментов ограничены земной атмосферой. Кроме того, ученых интересует не только лик небесных тел. Очень важно знать, например, какова температура Луны, есть ли у нее атмосфера, а если есть, то каков ее химический состав. Решение этих вопросов невозможно простым наблюдением небесных тел с помощью телескопов. Поэтому астрономы стремятся использовать все возможности, которые им предоставляют современные наука и техника.

Различные современные методы исследования в сочетании со сложными расчетами позволили достаточно хорошо изучить поверхность Луны, установить ее массу, плотность, размеры, изучить закономерности движения Луны. Но многие тайны Луны остаются до сих пор нераскрытыми. До сих пор неизвестны не только происхождение самой Луны, но и происхождение образований на ее поверхности. Неизвестны физическое состояние и химический состав поверхностных слоев пород Луны, не говоря уже о глубинных породах, составляющих тело Луны.

Давно доказано, что время полного оборота Луны вокруг своей оси совпадает со временем обращения

Луны вокруг Земли. Это значит, что Луна обращена к Земле всегда лишь одной своей стороной. Противоположная же сторона поверхности Луны с Земли полностью не видна. Временами бывают доступны наблюдениям лишь узкие зоны, непосредственно примыкающие к видимой части поверхности Луны, что происходит вследствие так называемой либрации Луны: для наблюдателя с Земли Луна кажется вращающейся вокруг своей оси неравномерно, она как бы покачивается относительно своего среднего положения.

Вследствие явлений либрации наблюдениям оказываются доступными только около 59% поверхности Луны. Однако остающиеся 41% поверхности всегда оказываются скрытыми от нашего взора. Кроме того, даже то, что видно земным наблюдателям, нуждается в проверке. Ряд образований на лунной поверхности, находящейся на границе видимой с Земли части Луны, кажется нам длинными и узкими, их истинная форма искажена.

Таким образом, исследование стороны Луны, недоступной для наблюдений с поверхности нашей планеты, представляет огромный научный интерес. Осуществить эту многовековую мечту человека удалось советскому народу, его ученым, конструкторам, инженерам, техникам, рабочим, создавшим и запустившим третью космическую ракету с автоматической межпланетной станцией.

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ОСВОЕНИЕ КОСМОСА

Как средство запуска искусственных спутников Земли и космических ракет ракетная техника играет важную роль, однако точный вывод спутников и ракет на орбиту, получение и передача результатов научных измерений и наблюдений с искусственных небесных тел на Землю, обработка полученных данных совершенно невозможны без использования достижений современной радиоэлектроники. Совершенно очевиден тот факт, что без достаточно надежной радиосвязи с космической ракетой или спутником не имело бы никакого смысла устанавливать на их борту какие бы то ни было научные приборы, ибо показания этих приборов можно пе-

редать в настоящее время на Землю только средствами радиосвязи.

Еще до запуска искусственных спутников и космических ракет условия радиосвязи с ними, так же как и возможные причины ее нарушений были частично выяснены с помощью высотных ракет.

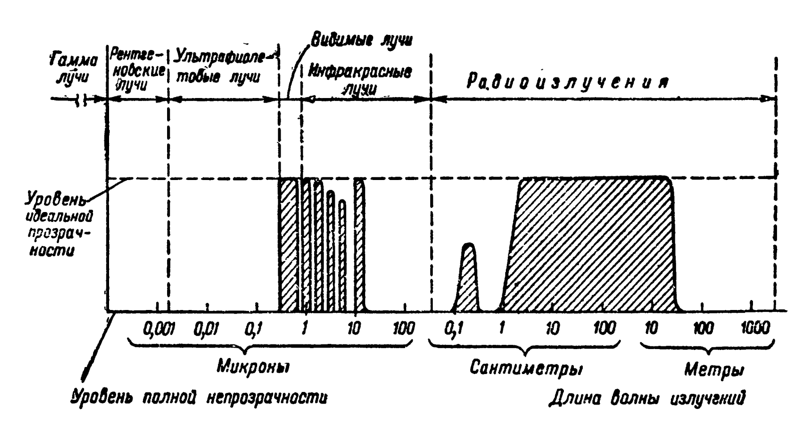


Рис. 1. Прозрачность земной атмосферы для электромагнитных колебаний с различными длинами волн.

При такой радиосвязи необходимо учитывать влияние атмосферы на прохождение электромагнитных волн. Не всякое электромагнитное колебание может «пробить» себе путь сквозь толщу воздушного океана, на дне которого мы живем.

На рис. 1 показан график «прозрачности» земной атмосферы для электромагнитных колебаний различных длин волн.

Особенно сильное влияние на прохождение электромагнитных колебаний оказывают верхние ионизированные слои атмосферы. Состояние этих слоев — их толщина, высота над поверхностью Земли, степень концентрации заряженных частиц — зависит от времени суток и года. Соответственно различается и воздействие этих слоев на радиосвязь в различное время суток и года.

Чем выше концентрация электронов в ионосфере и чем больше длина волн, используемых для связи, тем

труднее этим колебаниям пробиться сквозь слой ионосферы.

Если электромагнитные колебания с длинами волн более 50 *м* посылаются с Земли, то, достигнув ионосферы, они отражаются от нее и возвращаются к поверхности Земли. Последующее отражение радиоволн от поверхности Земли вызывает многократное повторение этого процесса, в результате чего радиоволны могут достигнуть пункта, находящегося в диаметрально противоположной по отношению к передающей радиостанции точке земного шара. Но именно это свойство ионосферы, позволяющее установить радиосвязь между отдаленными пунктами земной поверхности, затрудняет радиосвязь с искусственными спутниками Земли и космическими ракетами.

Для отражения длинных волн, посылаемых с Земли, достаточно той концентрации электронов, которая обнаруживается на высоте 60—90 *км*, в так называемом ионосферном слое D. Средние волны отражаются слоем E, расположенным на высоте 100—130 *км*, где электронная концентрация много выше. Еще более короткие волны, беспрепятственно проходящие слои D и E, отражаются слоем F с максимальной концентрацией электронов на высоте 250—400 *км*. Радиоволны длиной около 40 *м* уже могут проходить, не отражаясь, за пределы ионосферы, однако при этом они ослабляются. Чем ближе направление радиолуча к вертикальному, тем меньше ослабление проходящих сквозь ионосферу волн. Волны короче 20 *м* проходят сквозь атмосферу почти беспрепятственно.

С точки зрения эффективного использования электроэнергии желательно применять направленное излучение электромагнитных волн как на искусственном небесном теле, так и на Земле. Как известно, геометрические размеры антенных систем при этом должны быть соизмеримыми с длиной волны используемого электромагнитного излучения. Поэтому с целью уменьшения размеров антенн желательно использовать ультракороткие радиоволны. Однако слишком короткие волны (длиной менее 3 *см*) для связи с космическими кораблями использовать нельзя, так как они поглощаются нижними слоями атмосферы, водяными парами, рассеиваются ионосферой. Особенно сильно поглощаются водяны-

ми парами и рассеиваются ионосферой радиоволны длиной менее 2 *см*. Однако поглощение в парах воды и кислороде воздуха, которое объясняется возникновением резонансных явлений, неодинаково в пределах диапазона миллиметровых волн. Так, в диапазоне волн 20—1 *мм* имеются две полосы поглощения радиоволн в парах воды с максимумами поглощения на волнах 1,8 и 14 *мм*. В том же диапазоне кислород воздуха имеет две полосы поглощения с максимумами на волнах 2,6 и 5 *мм*. Так как полосы максимального поглощения довольно узки, то в диапазоне миллиметровых волн могут быть выделены широкие области, в которых потери из-за поглощения малы.

На советских спутниках и космических ракетах использовались радиоволны с длинами волн от 15 до 1,5 *м*. Недостатком космической связи с использованием волн этого диапазона является то, что они лежат в диапазоне собственного радиоизлучения небесных тел и газовых туманностей.

К числу первостепенных проблем, возникающих при конструировании бортовой радиоаппаратуры, относится проблема источников электрической энергии на спутниках и космических станциях. На межпланетной автоматической станции использовались отдельные блоки химических элементов тока, обеспечивающие питание кратковременно действующей аппаратуры, а также централизованный блок буферной химической батареи. В этих источниках тока электрическая энергия вырабатывалась непосредственно за счет химического взаимодействия веществ, входящих в состав их электродов. Пополнение израсходованной энергии буферной батареи осуществлялось за счет солнечных батарей — фотоэлектрических преобразователей энергии.

В качестве фотоэлектрических генераторов, преобразующих энергию солнечных лучей непосредственно в электрическую, в настоящее время широко применяются кремниевые элементы, обладающие значительно большей эффективностью по сравнению с фотоэлектрическими генераторами других типов. У лучших образцов кремниевых элементов в электрическую энергию преобразуется до 11% попадающей в элемент энергии солнечных лучей. При использовании солнечной батареи для получения электрической энергии необходимо учиты-

вать, что энергия солнечного излучения имеет относительно малую плотность; поэтому для получения достаточной мощности требуется применять батареи с соответствующей площадью поверхности. При этом необходимо иметь в виду, что в безоблачный день поток солнечного света имеет на освещаемой поверхности мощность около 1 *квт/м*^{2} при условии, что солнечные лучи падают перпендикулярно освещаемой поверхности. При подсчете мощности, вырабатываемой фотоэлектрическим генератором, необходимо учитывать и то, что не вся энергия солнечных лучей поглощается элементом: часть ее отражается от поверхности кремниевого преобразователя.

Напряжение, вырабатываемое отдельными кремниевыми элементами, равно примерно 0,5 *в*. Соединяя соответствующим образом большое количество таких элементов, получают батарею так называемых вентильных фотоэлементов, дающую необходимые напряжение и ток: для повышения вырабатываемого напряжения элементы должны, как обычно, соединяться последовательно; чтобы повысить ток, требуется либо увеличить освещаемую поверхность элемента, либо соединить элементы параллельно.

Секции этих батарей расположены на автоматической межпланетной станции таким образом, что фотоэлектрический генератор нормально работает независимо от того, как станция ориентирована относительно Солнца: в то время, когда одна секция батареи попадает в тень, начинают работать секции противоположной стороны (рис. 2).

Бортовое оборудование космической станции включает в свой состав большое количество различных приборов, требующих для своей нормальной работы различных напряжений и потребляющих различные токи. Нужные напряжения и токи вырабатываются с помощью преобразователей. Постоянство же питающих токов и напряжений обеспечивается стабилизирующими устройствами.

Экономное расходование электрической энергии бортовой аппаратурой достигается не только рациональным режимом передачи сигналов, но и продуманным построением схем устройств, применением в них новейших материалов и узлов. Экономному расходованию элек-

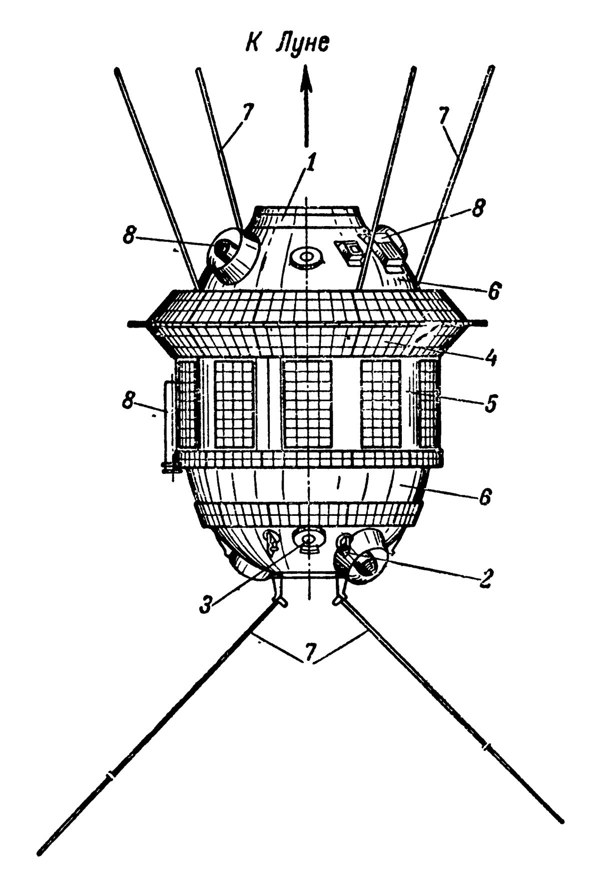


Рис. 2. Схематическое изображение общего вида автоматической межпланетной станции.

1 — иллюминатор для фотографических аппаратов; *2* — двигатель системы ориентации; *3* — солнечный датчик; *4* — секции солнечной батареи; *5* — жалюзи системы терморегулирования; *6* — тепловые экраны; *7* — антенны; *8* — приборы для научных исследований.

троэнергии в большой мере способствует и широкое использование усилителей, приемников, передатчиков, генераторов и других устройств, собранных на полупроводниковых приборах.

Четкий прием информации от многочисленных приборов космических станций осуществляется только в опре-

деленные промежутки времени, наиболее подходящие для связи космической лаборатории с наземными станциями. Но и тут есть свои трудности: ведь необходимо передать в определенной последовательности показания самых различных приборов, фиксирующих результаты измерений за время одного или даже нескольких облетов космической станцией своей орбиты.

Для обеспечения раздельной передачи и регистрации показаний самых различных приборов наземная радио-

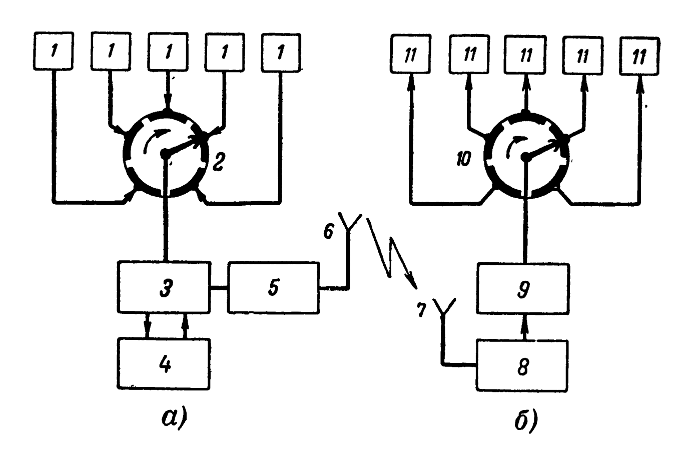


Рис. 3. Упрощенные блок-схемы радиотелеметрических систем бортовой (*а*) и наземной (*б*) частей аппаратуры.
1 — датчики и научные приборы; *2* и *10* — коммутаторы; *3* — блок формирования телеметрического сигнала; *4* — запоминающее устройство; *5* — радиопередатчик; *6* и *7* — антенны; *8* — радиоприемник; *9* — дешифратор; *11* — блоки регистраций.

телеметрическая станция имеет коммутирующее устройство, работающее синхронно с бортовым коммутатором. Синхронизация же бортового и наземного коммутаторов осуществляется передачей специальных синхронизирующих импульсов. На рис. 3 схематически изображена система такого типа. Информация от каждого прибора выбирается в определенной последовательности коммутатором, и для каждого вида информации генерируются модулированный импульс или группа импульсов.

Системы радиосвязи космических лабораторий должны отличаться от обычных систем радиосвязи высокой

пропускной способностью: в течение сеанса радиопередачи должно быть передано большое количество информации, накопленной соответствующими приборами. Кроме того, надо учитывать, что каждый отдельный результат измерения передается в виде короткого сигнала, и поэтому даже случайная кратковременная радиопомеха может исказить сигнал. В связи с этим предусматривается промежуточное преобразование показаний приборов в специально сформированные импульсы, устойчивые к различного вида помехам, т. е. осуществляется кодирование информации. Каждая посылка, определяющая величину показания какого-либо прибора, может состоять из нескольких импульсов, различающихся амплитудой, числом импульсов в посылке, взаимным расположением импульсов, длительностью импульсов и т. д. Для создания импульсных посылок того или иного вида используются специально разработанные схемы на электронно-лучевых трубках. Импульсы, несущие определенную информацию, подаются к бортовому радиопередающему устройству, где они модулируют несущую частоту.

На приемном конце принятые сигналы усиливаются, и из колебаний высокой частоты выделяются импульсы, несущие информацию о показаниях тех или иных приборов. Затем полученные импульсы подаются на вход дешифратора, который осуществляет восстановление электрических сигналов, пропорциональных показаниям бортовых измерительных приборов.

Третья советская космическая ракета передавала данные лишь после подачи сигнала с Земли. Сеансы передачи с борта межпланетной станции производились по 2—4 *ч* в соответствии с программой наблюдений. Все управление бортовой аппаратурой станции производилось с наземных пунктов по радиолинии, а также отдельными программными устройствами. Это давало возможность управлять проведением научных экспериментов и получать информацию с любых участков орбиты. Кроме того, передача информации сеансами позволяет постоянно накапливать в аккумуляторах электроэнергию, вырабатываемую солнечными батареями с тем, чтобы во время передачи можно было расходовать ее более интенсивно. Такой метод передачи информации был использован впервые.

Запуск искусственных спутников Земли и космических лабораторий осуществляется, как известно, с помощью многоступенчатых ракет (рис. 4). Ракета с помощью двигателей первой ступени поднимается вертикально, преодолевая наиболее плотную часть атмосферы Земли по кратчайшему расстоянию, затем поочередно вступают в действие двигатели последующих ступеней.

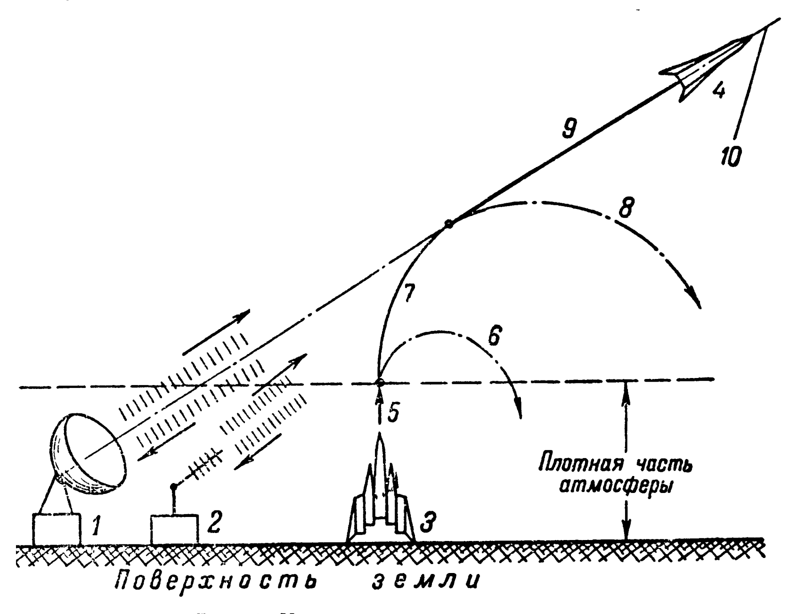


Рис. 4. Управление разгоном ракеты.

1 — станция, контролирующая направление полета; *2* — станция, контролирующая скорость полета; *3* — многоступенчатая ракета на стартовой площадке; *4* — последняя ступень ракеты; *5* — подъем ракеты; *6* — сброс первой ступени ракеты, *7* — разворот ракеты; *8* — сброс второй ступени; *9* — разгон ракеты; *10* — заданная траектория последней ступени ракеты.

Так как никакой коррекции движения космических ракет в пути не производится и весь полет их определяется в конечном счете параметрами движения в конце участка разгона, то обеспечение заданных траекторий движения ракет возможно лишь при очень совершенной системе управления ракетами на участке разгона.

Так, например, расчеты показывают, что при отсутствии какой-либо коррекции движения для попадания

ракеты на Луну на участке свободного полета погрешность в скорости должна быть не более нескольких метров в секунду, а отклонение угла направления полета от расчетного направления не должно превышать десятой доли градуса. Отклонение же времени старта от намеченного не должно при этом превышать нескольких секунд. Обеспечение такой точности управления представляет очень сложную задачу. Еще более жесткие требования предъявляются к точности системы управления при направлении ракеты по облетной траектории вокруг Луны, которая была выбрана для третьей советской космической ракеты.

Управление ракетами на начальном участке их пути осуществляется радиотехническими средствами. С помощью системы радиотехнических устройств ракета выводится на прямолинейный участок траектории, и после достижения последней ступенью ракеты требуемой скорости двигатели последней ступени ракеты выключаются по команде с Земли.

Кроме того, для осуществления надежной радиосвязи межпланетных станций с наземными наблюдательными пунктами нужно все время достаточно точно знать изменение характеристик движения космических станций. Это необходимо для того, чтобы производить с требуемой точностью расчет и определять моменты включения бортовых радиопередающих устройств. Именно поэтому требовались систематические измерения траектории третьей советской космической ракеты, обработка данных и уточнения характеристик движения станции как до подхода к Луне, так и после ее облета. Влияния Солнца и Луны на изменение орбиты космической станции также требовали постоянного измерения и уточнения характеристик движения станции.

Точные прогнозы движения искусственных небесных тел, расчет их траекторий были бы невозможны без создания и использования измерительной и расчетной служб, применяющих сложный комплекс различных устройств. Определение параметров движения космических ракет необходимо было производить с большой точностью, соответствующей точности астрономических расчетов. Обычные, выработанные многолетней астрономической практикой приемы определения характеристик движения космических тел в данном случае не могли

быть использованы. Действительно, основа наблюдательной астрономии — оптические измерения являются непригодными вследствие небольших размеров ракеты как объекта наблюдения, малой точности угловых измерений при ограниченном времени наблюдения и, наконец, малой надежности этих измерений, зависящих в большой степени от условий видимости и состояния земной атмосферы. Поэтому в измерительной службе космических ракет применяются радиотехнические средства измерений.

Для быстрого определения элементов траекторий советских космических ракет использовалась автоматически действующая электронная аппаратура. Данные измерений кодировались счетно-решающими устройствами, привязывались к астрономическому времени и в виде определенной последовательности импульсов поступали по линиям связи в центральный координационно-вычислительный центр. В этом центре поступающая информация с помощью электронных устройств автоматически декодировалась и записывалась на перфорированных картах, которые в дальнейшем вводились в электронные вычислительные машины. По данным измерений, поступавшим с различных измерительных пунктов, вычислительные машины производили расчет начальных условий движения ракеты и целеуказаний измерительным пунктам. Данные, выдаваемые вычислительными машинами, получались в результате решения ими уравнений, описывающих совместное движение Солнца, Земли, Луны и автоматической межпланетной станции.

Для координации работы измерительных средств по времени и привязки результатов измерений к единому времени использовалась служба единого времени.

Все измерительные пункты были объединены системой специальной связи, обеспечивающей оперативную передачу данных измерений в вычислительный центр и целеуказаний на измерительные пункты.

КАК ФОТОГРАФИРОВАЛАСЬ НЕВИДИМАЯ СТОРОНА ЛУНЫ

Одной из сложнейших задач, которую необходимо было решить для получения уникальных фотографий Луны, являлось обеспечение соответствующей ориентации межпланетной автоматической станции в космиче-

ском пространстве. Автоматическая межпланетная станция после отделения последней ступени ракеты произвольно вращалась вокруг своего центра тяжести. Совершенно ясно, что сфотографировать Луну даже 1 раз, не говоря уже о целой серии фотографий, при таком вращении невозможно.

Как же можно обеспечить необходимую ориентацию межпланетной станции?

Известны различные способы ориентации космического летательного аппарата относительно Земли, Солнца, Луны и других небесных тел.

Угловая ориентация космического летательного аппарата может быть осуществлена, во-первых, с помощью нескольких маленьких реактивных двигателей с различным направлением газовых струй. Включая определенную группу этих двигателей, можно изменять ориентацию аппарата. Изменить ориентацию космического летательного аппарата можно также, повернув на небольшой угол камеру сгорания.

Другой способ изменения ориентации космического летательного аппарата состоит в использовании вращающихся маховиков, располагаемых на его осях. Применять маховые массы для управления положением межпланетной станции предложил К. Э. Циолковский. Принцип действия маховых масс основан на законе механики, который гласит, что если на систему не действуют внешние силы, то момент количества движения системы тел остается постоянным. Моментом количества движения космического аппарата называется произведение его момента инерции [1] на угловую абсолютную скорость, т. е. скорость относительно неподвижного «мирового пространства». Если мы каким-либо способом начнем вращать маховую массу с постоянной скоростью, то межпланетная станция начнет вращаться в другую сторону с определенной скоростью. Для ориентировки межпланетной станции по одной из трех осей в ее корпусе на двух других взаимно-перпендикулярных осях необходимо поместить по маховику, которые будут вращаться двигателями с определенными угловыми скоростями. Используя такую систему маховиков, можно

[1] Момент инерции тела относительно какой-либо оси вращения выражается произведением массы тела на квадрат расстояния тела от этой оси.

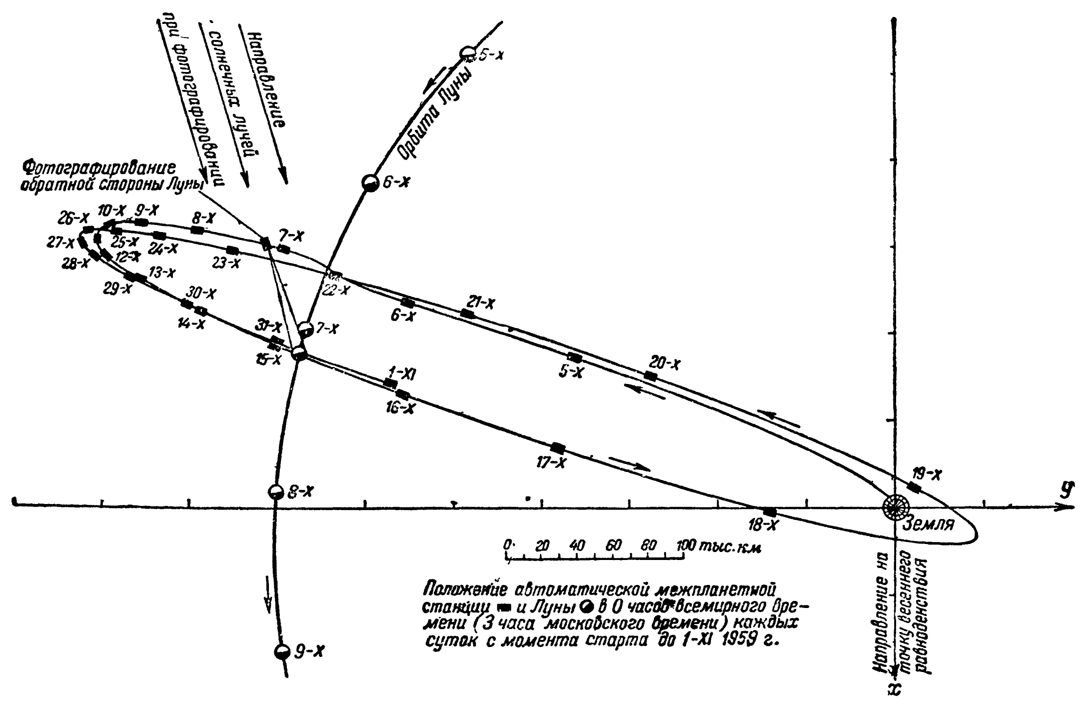


Рис. 5. Траектория полета автоматической межпланетной станции (проекция на плоскость земного экватора).

остановить вращение корпуса межпланетной станции в безвоздушном пространстве и осуществить угловую ориентацию ее относительно небесных тел.

Ориентация автоматической межпланетной станции производилась с помощью системы, включавшей в свой состав оптические и гироскопические датчики, логические электронные устройства и управляющие двигатели. В начале работы система ориентации прежде всего прекратила произвольное вращение межпланетной станции вокруг ее центра тяжести, возникшее в момент отделения станции от последней ступени ракеты-носителя.

Траектория движения станции была выбрана таким образом, чтобы в момент съемки станция находилась приблизительно на прямой, соединяющей Солнце и Луну. При этом Земля должна была находиться в стороне от направления Солнце — Луна (рис. 5), чтобы не произошло ориентации на Землю вместо Луны.

Перед началом процесса фотографирования нижнее сферическое днище, на котором были установлены солнечные датчики, при помощи системы ориентации было направлено на Солнце. В это время иллюминатор на верхнем днище, под крышкой которого находились объективы фотографических аппаратов, был повернут в сторону Луны. После такой предварительной ориентации оптические устройства станции проверили ее по отраженному от Луны свету, так как во время процесса наводки станция могла и не находиться точно на линии Луна — Солнце. Комплекс устройств, производящих ориентацию, управлялся солнечными и лунными датчиками, преобразовывавшими энергию прямых и отраженных от поверхности Луны лучей Солнца в электрические сигналы. Положение станции во время ориентации на Луну показано на рис. 6.

После того как была произведена точная наводка на Луну, оптические устройства выработали сигнал, разрешавший начало автоматического фотографирования. В течение всего времени фотографирования автоматическая система ориентации обеспечивала непрерывное наведение станции на Луну; при этом помехи, вызываемые отраженным от Земли светом, были практически устранены.

Для фотографирования Луны наши конструкторы создали фототелевизионную аппаратуру, способную ра-

ботать в сложных условиях космического полета, устойчивую к изменениям температурного режима, сохраняющую фотоматериалы, несмотря на вредное воздействие космических излучений. Одним из условий работы этой аппаратуры было четкое взаимодействие всех ее механизмов в условиях невесомости.

На межпланетной станции использовался фотоаппарат с двумя объективами. Как известно, от величины

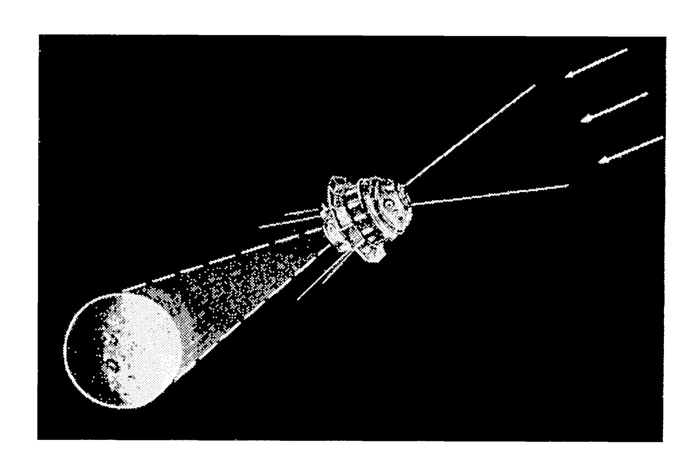


Рис. 6. Положение автоматической межпланетной станции в космическом пространстве при фотографировании обратной стороны Луны (стрелки справа показывают направление лучей Солнца).

фокусного расстояния объектива (расстояния от линзы до плоскости, на которой получается изображение очень удаленного предмета) зависит масштаб даваемого объективом изображения. Один объектив станции имел фокусное расстояние 200 *мм* и относительное отверстие (отношение входного отверстия к фокусному расстоянию) 1 : 5,6. Этот объектив давал изображение лунного диска, которое полностью вписывалось в кадр. Другой имел фокусное расстояние 500 *мм* и относительное отверстие 1 : 9,5 и позволял фотографировать детали.

После того как система ориентации навела объективы на Луну, в течение 40 *мин* производилась съемка. Фотографирование велось на специальную 35-милли-

метровую пленку. Сигнал о начале съемок был подан с Земли по радио, после чего дальнейший процесс съемки и сложный процесс обработки фотопленки производились автоматически по заданной программе. Последний снимок был сделан при расстоянии автоматической межпланетной станции от Луны 68 400 *км*.

Съемка производилась с автоматическим изменением экспозиции, с тем чтобы не ошибиться и наверняка получить снимки высокого качества.

Уникальные кадры были проявлены и зафиксированы специальным малогабаритным автоматизированным устройством. Процесс обработки был продуман таким образом, что он почти не зависел от изменения температуры внутри станции и не нарушался вследствие почти полной невесомости аппаратуры и химических реактивов. После обработки пленка просушивалась, а испаренная влага поглощалась, благодаря чему была обеспечена длительная сохранность фотопленки. После всей этой обработки фотопленка также автоматически поступала в специальную кассету, где и сохранялась до момента передачи зафиксированных на ней изображений на Землю.

Еще на Земле, перед посылкой ракеты в сторону Луны, на фотопленку были экспонированы испытательные знаки, причем часть этих знаков тут же на Земле была проявлена. Другая часть знаков проявлялась уже на борту межпланетной автоматической станции в процессе обработки заснятых кадров с изображением обратной стороны Луны. Эти знаки были переданы на Землю и дали возможность осуществить контроль процессов съемки, обработки и передачи изображений. И все это при расстоянии между наземными наблюдательными пунктами и космической лабораторией почти 500 000 *км*!

После того как было произведено экспонирование всех кадров, система ориентации выключилась. В момент выключения система ориентации сообщила автоматической межпланетной станции упорядоченное вращение с определенной угловой скоростью. Скорость вращения выбрана такой, чтобы, с одной стороны, улучшить тепловой режим, а с другой — исключить влияние вращения станции на работу научной аппаратуры.

ПРИНЦИП РАБОТЫ БОРТОВОЙ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ УСТАНОВКИ

Полученное с помощью отлично сработавшего бортового фотографического автомата изображение обратной стороны Луны должно было быть передано на огромное расстояние. Этот грандиозный эксперимент производился впервые за всю историю существования человечества.

Как известно, изображение Луны было зафиксировано на светочувствительном слое негативной фотопленки. Распределение света и тени на поверхности Луны передавалось на фотографическом изображении различной степенью потемнения (различной оптической плотностью) отдельных участков фотопленки. Чем больший поток света, отраженного поверхностью Луны, попадал на отдельные участки фотопленки, тем более темными (т. е. бо́льшими по оптической плотности) оказывались эти участки после проявления и последующей фиксации фотографического изображения. Для того чтобы передать затем различное распределение оптической плотности по кадру, необходимо было предварительно преобразовать изменения плотности отдельных участков изображения в электрические сигналы. Изображение на негативной фотопленке переводилось этим самым на язык электрических сигналов одним из способов, используемых в телевидении для передачи кинофильмов. Блок-схемы передающей и приемной части установок приведены соответственно на рис. 7 и 8.

Полученные электрические сигналы, отображающие прозрачность отдельных точек негативной фотопленки, усиливались и подводились затем к радиопередающему устройству. Здесь сигналы изображения определенным способом управляли колебаниями высокой частоты, излучаемыми антенной передатчика автоматической межпланетной станции. Принятые на Землю электрические сигналы после соответствующего усиления и преобразования были превращены снова в световые сигналы. При этом необходимо было сохранить относительное расположение светящихся точек различной интенсивности в соответствии с распределением на фотопленке элементов различных оптических плотностей. Для получения изображения удовлетворительного качества число воспроизводимых, а соответственно и передаваемых

элементов, должно быть очень велико — порядка нескольких сотен тысяч.

Передача телевизионного изображения обычно начинается с левого верхнего угла кадра, и преобразование изображения в электрические сигналы происходит слева направо, одного элемента за другим по всему гори-

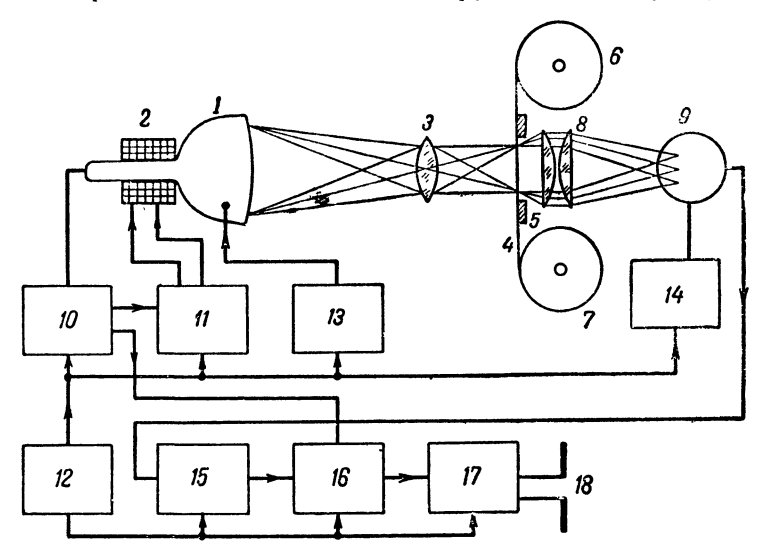


Рис. 7. Блок-схема телевизионного передатчика с бегущим световым пятном.

1 — проекционная электронно-лучевая трубка; 2 — фокусирующе-отклоняющая система; 3 — объектив; 4 — кинолента; 5 — кадровое окно, 6 — подающая кассета; 7 — принимающая кассета; 8 — конденсор; 9 — фотоэлектронный умножитель; 10 — генератор гасящих и синхронизирующих импульсов; 11 — генератор развертки; 12 — источник электрической энергии; 13 — источник высокого напряжения трубки; 14 — источник высокого напряжения фотоэлектронного умножителя; 15 — усилитель сигналов изображения; 16 — смеситель; 17 — модулируемый генератор колебаний высокой частоты; 18 — передающая антенна.

зонтальному ряду элементов до правого края изображения объекта (рис. 9,*а*). При этом световое пятно проходит первую строку так называемой развертки. Затем такому же преобразованию подвергается второй ряд элементов: развертываются вторая строка передаваемого изображения, третья и последующие тесно примыкающие друг к другу строки. Передача изображения Луны с борта автоматической межпланетной станции в зависимости от расстояния последней до Земли про-

изводилась с различными числами строк разложения. Максимальное число строк доходило до 1 000. Преобразованием в электрические сигналы световой энергии от всех элементов последнего горизонтального ряда передаваемого изображения заканчивается передача одного полного телевизионного кадра, после чего процесс преобразования может быть повторен в том же порядке.

Для воспроизведения изображения необходимо, чтобы преобразование электрического сигнала на прием-

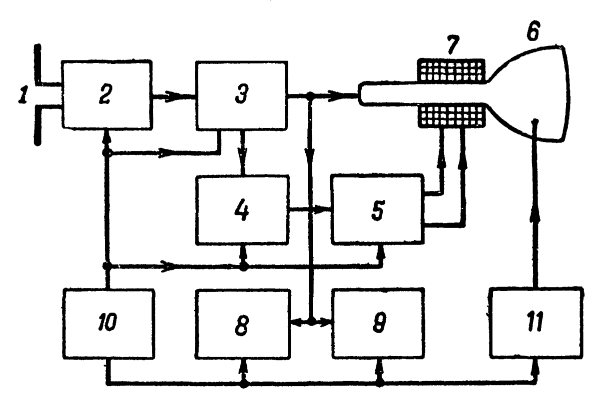


Рис. 8. Блок-схема аппаратуры пункта приема сигналов изображения.

1 — приемная антенна; *2* — радиоприемник; *3* — усилитель сигналов изображения; *4* — генератор синхронизирующих импульсов; *5* — генератор развертывающих колебаний; *6* — воспроизводящая электронно-лучевая трубка; *7* — фокусирующе-отклоняющая система; *8* и *9* — устройства записи электрических сигналов, *10* — источник электрической энергии; *11* — источник высокого напряжения электронно-лучевой трубки.

ной стороне происходило в той же последовательности в какой осуществлялось разложение, т. е. синхронно и синфазно с ним.

Разложение изображения на элементы отдельных строк может быть осуществлено и другими способами. Здесь описывалась развертка изображения бегущим световым пятном. В качестве средства развертки в ней была применена используемая в телевидении проекционная электронно-лучевая трубка. Трубка эта являлась источником световой энергии. Экран ее прочерчивался в определенной последовательности электронным пучком, создавая соответствующую перемещению пучка по-

следовательность световых вспышек. С помощью объектива перемещающееся световое пятно с экрана трубки проецируется на фотопленку с негативным изображением обратной стороны Луны; при этом в каждый отдельный момент времени просвечивается только один эле-

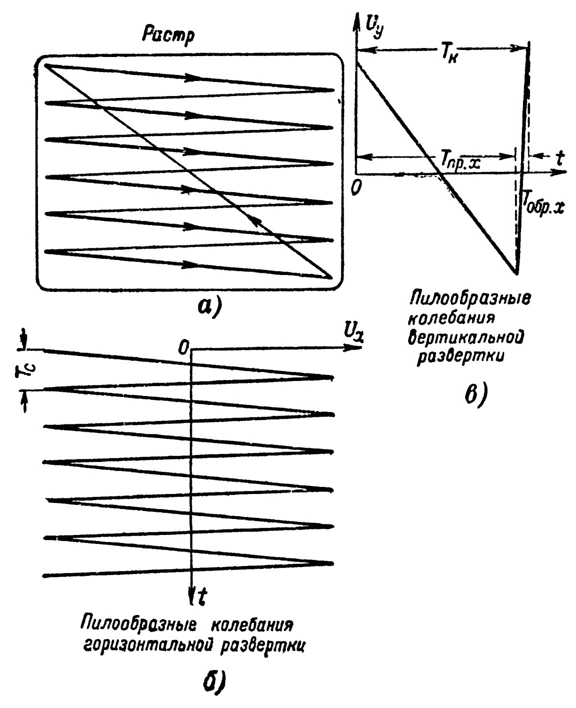


Рис. 9. Образование растра на экране трубки электронным лучом, перемещающимся под воздействием горизонтального (x) и вертикального (y) отклоняющих электрических полей.

мент негатива. Пропущенный фотопленкой свет попадает затем на катод фотоэлектронного умножителя, и на выходе последнего возникает электрический сигнал. При скольжении светового пятна по поверхности пленки в соответствии с изменением плотности ее изменяется и величина светового потока, а следовательно, и сигнал изображения. Таким образом, в данном случае используется телевизионная система мгновенного

действия, в которой световой поток с каждого элемента объекта используется только в течение короткого интервала времени: пока световое пятно совпадает с данным элементом изображения, на фотокатод фотоэлектронного умножителя в каждый момент воздействует световой поток только от одного элемента изображения.

Устройство электронно-лучевой трубки с электростатическим отклонением и принцип электронной развертки поясняет рис. 10. Электронно-лучевая трубка состоит

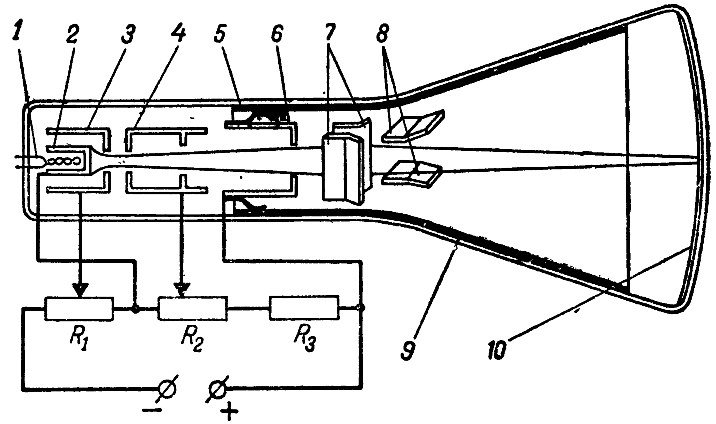


Рис. 10. Устройство электронно-лучевой трубки с электростатическим управлением.

1 — нить накала; *2* — катод; *3* — управляющий электрод; *4* — первый анод; *5* — электропроводящее покрытие; *6* — второй анод; *7* — пластины горизонтального отклонения; *8* — пластины вертикального отклонения; *9* — стеклянная колба трубки; *10* — слой люминесцирующего вещества (экран трубки).

из следующих основных элементов: электронного прожектора, фокусирующей системы, отклоняющей системы и люминесцирующего экрана. Все электроды трубки заключены в стеклянный баллон, из которого выкачан воздух, с тем чтобы атомы газа не мешали движению электронного пучка. В зависимости от способа фокусировки и отклонения электронного пучка различают несколько типов электронно-лучевых трубок.

Электронный прожектор трубки состоит из нескольких электродов, служащих для создания фокусировки и изменения интенсивности электронного пучка. Прожектор устанавливается соосно с горловиной колбы

трубки и содержит подогревный катод, управляющий электрод и два коаксиальных цилиндра, называемых первым и вторым анодами. Катод представляет собой никелевый цилиндр с плоским или слегка вогнутым дном. Углубление в центральной части катода заполняется стойким оксидом — хорошим источником электронов. Катод подогревается вольфрамовой нитью, покрытой изолирующим жароупорным материалом.

За катодом размещается управляющий электрод, представляющий собой полый цилиндр с отверстием, расположенным против центра катода. Управляющему электроду сообщается отрицательный (до нескольких десятков вольт) потенциал относительно катода. Изменение величины этого напряжения изменяет интенсивность тока луча и соответственно яркость свечения экрана.

Первый анод выполняется в виде полого цилиндра с плоским дном, имеющим отверстие, обращенное к катоду. Назначением этого электрода является создание вблизи катода электрического поля большой напряженности, необходимого для формирования электронного пучка. Внутри анода помещено несколько перегородок с отверстиями — диафрагм, которые задерживают электроны, траектории которых отклонены от оси.

Второй анод соединяется с внутренним проводящим покрытием баллона трубки и имеет потенциал, в 3—10 раз более высокий, чем потенциал первого анода. Потенциал второго анода определяет скорость электронов, бомбардирующих экран. Между первым и вторым анодами образуется главное фокусирующее поле, стягивающее электроны в узкий пучок.

Экран трубки состоит из тонкого слоя люминофора, нанесенного на внутреннюю поверхность передней стенки колбы. Быстро движущиеся электроны бомбардируют люминофор и отдают ему при этом свою энергию. Последняя частично выделяется в виде тепла, а частично возбуждает атомы кристаллического люминофора, что проявляется в виде излучения электромагнитных колебаний различных частот, включая видимую область спектра. Состав люминофора и способ его нанесения определяют цвет, яркость свечения и способность люминофора сохранять свечение после прекращения облучения электронным пучком. Время, в течение которого

сохраняется свечение, называется временем послесвечения.

Электронная развертка с электростатическим отклонением осуществляется с помощью двух пар взаимно-перпендикулярных металлических пластин. Между пластинами при подаче на каждую пару их напряжения создаются электрические поля, направленные перпендикулярно оси трубки. Силы взаимодействия между этими полями и движущимися по направлению к экрану электронами отклоняют электроны от оси, причем отклонение пропорционально напряженности электрического поля. Напряженность поля между пластинами меняется при изменении отклоняющих напряжений по определенному закону. Для создания прямоугольного растра, т. е. воспроизведения всех горизонтальных строк на экране трубки, к отклоняющим пластинам необходимо подавать напряжения пилообразной формы (см. рис. 9,*б* и *в*). Частота колебаний, обеспечивающих смещение электронного пучка по вертикали, должна соответствовать частоте смены кадров, а частота напряжения, подаваемого на горизонтальные пластины, должна быть во столько раз больше частоты смены кадров, на сколько строк разлагается изображение. Движение пучка слева направо под воздействием горизонтального отклоняющего поля называется прямым ходом строчной развертки. Быстрое же возвращение его в начальное положение называется обратным ходом. Аналогично медленное движение электронного пучка сверху вниз под действием поля между вертикально отклоняющей парой пластин называется прямым ходом вертикальной развертки, а быстрое его возвращение вверх — обратным ходом.

Время возвращения пучка в исходное положение должно быть минимальным. Чтобы пучок не прочерчивал на экране линий, мешающих наблюдениям, трубка во время обратного хода обычно запирается специальными гасящими импульсами. Время обратного хода пучка по кадру и строке и используется для посылки так называемых синхронизирующих сигналов. Последние служат для установления жесткой связи между движениями пучков передающей и приемной трубок, т. е. в случае автоматической межпланетной станции—между проекционной трубкой аппаратуры космической станции и трубками на наземных наблюдательных пунктах.

Генераторы развертки космической станции были собраны на полупроводниковых приборах с использованием малогабаритных, совершенных по своим электрическим свойствам конденсаторов, трансформаторов, сопротивлений и других элементов.

Осуществить развертку изображения на пленке световым пятном можно и другим способом. На экране электронно-лучевой трубки нужно в этом случае перемещать электронный пучок лишь в горизонтальном направлении, а развертку в вертикальном направлении осуществлять за счет одновременной непрерывной протяжки пленки в продольном направлении.

Как уже говорилось, фокусировка и отклонение электронного пучка могут быть осуществлены и магнитными полями. Трубки с магнитной фокусировкой и магнитным отклонением пучка обеспечивают бо́льшую четкость изображения, чем электростатические трубки, особенно при больших размерах экранов. Трубки с магнитной фокусировкой и магнитным отклонением пучка при равных размерах экранов имеют меньшую длину по сравнению с электростатическими. Однако отклонение пучка достигается в электростатических трубках более простыми средствами. Размеры, вес и потребляемая энергия устройств, осуществляющих электромагнитное управление электронным пучком, оказываются бо́льшими, чем у аналогичных электростатических трубок.

В системах с бегущим световым пятном обычно используют электронно-лучевые трубки с повышенной яркостью свечения экрана. Повышение яркости свечения достигается в них за счет применения люминофоров с повышенной светоотдачей, увеличения ускоряющего напряжения (напряжения второго анода в данном случае), которое может достигать нескольких десятков тысяч вольт, и увеличения количества электронов в пучке.

Итак, использование электронно-лучевой трубки позволяет в определенной последовательности просвечивать небольшие участки пленки, на которой зафиксировано изображение Луны. Световой поток, пропущенный этими участками пленки, попадает на фотоэлектронный умножитель, в котором осуществляется многократное усиление фототока.

Принцип действия фотоэлектронного умножителя рассмотрим на примере многокаскадного фотоэлектрон-

ного умножителя, схематическое изображение электродов которого приведено на рис. 11. В приборе имеется несколько электродов, на поверхность которых нанесен активирующий слой цезия. Первый из электродов является фотокатодом, а последний — анодом. Фотокатод здесь по форме подобен промежуточным электродам— эмиттерам. Он может быть выполнен также в виде полупрозрачного покрытия на внутренней поверхности той или иной части колбы умножителя. Перед фотокатодом

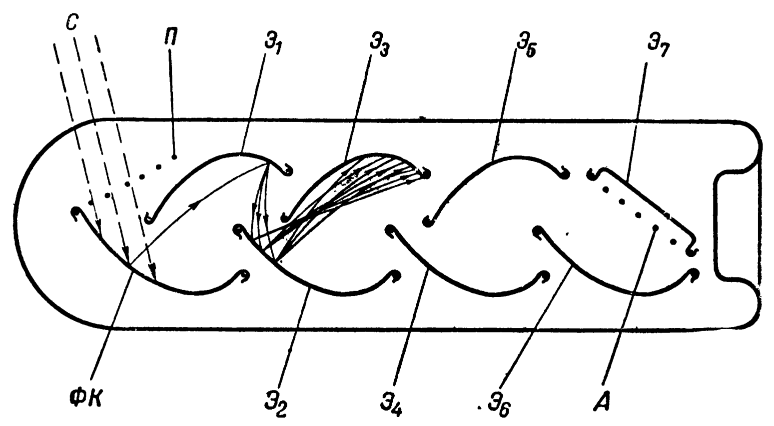


Рис. 11. Электродная система фотоэлектронного умножителя. *ФК* — фотокатод; *Э*₁—*Э*₇ — эмиттеры; *А* — анод; *С* — световой пучок; *П* — проволочная сетка.

на пути светового пучка помещена редкая проволочная сетка, препятствующая слишком сильному рассеянию электрического поля вблизи фотокатода. Число эмиттеров, располагаемых между фотокатодом и анодом, у разных приборов различно (до 16). Эмиттеры подключены к потенциометру так, что величина потенциала их увеличивается на одинаковую величину при увеличении порядкового номера электрода, начиная с фотокатода. Под действием светового потока с поверхности фотокатода испускаются электроны. Эти электроны ускоряются электрическим полем, бомбардируют первый эмиттер и выбивают с поверхности его электроны, причем количество вторичных (выбитых) электронов должно быть больше числа первичных электронов. Такой эффект достигается благодаря определенному вы-

бору материала и соответствующей обработке поверхности эмиттеров. Применяемые в настоящее время эмиттеры испускают пять и более электронов на один первичный электрон. Иными словами, коэффициент вторичной электронной эмиссии поверхности эмиттера равен 5 и более.

Вторичные электроны, вылетевшие из первого эмиттера, попадают на второй эмиттер, находящийся под бóльшим потенциалом относительно катода, и выбивают из него еще большее число вторичных электронов. Таким образом, электронный поток на пути от фотокатода к аноду непрерывно возрастает и в цепи анода появляется ток, значительно превосходящий фототок катода. Практически удается получить усиления фототока внутри прибора до 1 млн. раз, а в приборах усложненной конструкции усиление достигает 1 млрд. раз. Усиление K фотоэлектронного умножителя будет зависеть от величины коэффициента вторичной электронной эмиссии σ и количества эмиттеров n следующим образом:

$$K=\sigma^n.$$

Для того чтобы действительный коэффициент усиления приближался по своей величине к расчетному, определяемому по этой формуле, необходимо, чтобы все вторичные электроны попадали с каждого предыдущего эмиттера на последующий, а не пролетали мимо. Если часть электронов минует один или несколько эмиттеров, не «умножаясь» на них, то общий коэффициент усиления снижается. Для того, чтобы вторичные электроны не пролетали мимо соседних эмиттеров, им придана специальная ковшеобразная форма. Такая форма эмиттеров была найдена после тщательных исследований.

Последний эмиттер отличается по форме от остальных и выполнен так, чтобы анод можно было поместить достаточно близко от его поверхности. При этом пространственный заряд, который может образоваться скапливающимися электронами, рассасывается, чем обеспечивается линейность усиления. Анод в описываемом здесь фотоумножителе представляет собой рамку с натянутыми на ней проволочными нитями.

По такой схеме построена умножающая часть многих фотоэлектронных умножителей, выпускаемых нашей промышленностью.

Существует несколько типов фотоэлектронных множителей, в которых электронные потоки с одного эмиттера на другой направляются несколько иначе. В одном случае для направления электронных потоков используется специальный, общий для всех эмиттеров электрод — сетка. В другом случае эмиттеры умножителя устроены так, что первичные электроны бомбардируют их с одной стороны, а вторичные электроны выходят с противоположной стороны; такие эмиттеры располагаются один за другим.

В третьем случае фокусировка электронов осуществляется взаимодействием магнитного и электрического полей и движущихся электронов.

Сигналы на нагрузочном сопротивлении фотоэлектронного умножителя ничтожны по своей величине, и потому они подводятся к усилителю, а после усиления и смешения с синхронизирующими и гасящими импульсами, создаваемыми в схеме синхрогенератора, поступают в радиопередатчик. В передатчике высокочастотные сигналы модулируются сигналами изображения. Процесс модуляции, как известно, заключается в том, что в соответствии с изменениями величины и частоты сигнала изображения происходит изменение одного из параметров колебаний высокой частоты (амплитуды, фазы или частоты). Применяются и другие виды модуляции. Так, например, в радиофототелеграфии сигналы изображений часто передают методами амплитудной и частотной модуляций вспомогательной несущей частоты. Полученным частотно-модулированным сигналом модулируют затем амплитуду колебаний высокой несущей частоты радиопередатчика.

Последние виды модуляции хороши тем, что прием сигналов оказывается мало зависящим от постоянства условий распространения электромагнитных колебаний и положения передающих антенн по отношению к приемным антеннам. В приемном устройстве модулированные по частоте колебания после соответсгвующего усиления подаются на вход ограничителя, где амплитуды сигнала выравниваются и тем самым ослабляется влияние условий распространения и других помех на качество воспроизведения изображения. С выхода ограничителя сигналы подаются на помехозащитные устройства, а затем на частотный детектор. На выходе детектора получают

сигналы изображения, которые усиливаются и подаются к устройствам записи сигналов изображения или к воспроизводящим устройствам. Применение этих методов передачи неподвижного изображения оказывается возможным при узкой полосе частот. При широкой полосе передаваемых частот чаще используют амплитудную модуляцию несущей частоты. При этом, однако, передача получается наименее защищенной от различных помех. Амплитудная модуляция используется преимущественно для передачи сигналов движущегося изображения в телевизионном вещании.

ПЕРЕДАЧА СИГНАЛОВ С БОРТА КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ НА ЗЕМЛЮ

Важнейшей проблемой, возникшей при фотографировании изображения Луны, явилась проблема передачи радиосигналов на большие расстояния. Как известно, дальность действия систем радиосвязи зависит от излучаемой мощности радиопередатчика, направленности антенн, чувствительности приемных устройств, потерь при излучении и приеме и т. д. Создавая межпланетную автоматическую станцию, советские специалисты должны были решить сложные задачи конструирования бортовой и наземной аппаратуры. Конструкторы и ученые стремились к тому, чтобы бортовая аппаратура космической станции имела минимальный объем, небольшой вес и потребляла немного электрической энергии. Большое внимание было уделено надежности работы бортовых радиотехнических устройств.

Рассмотрим теперь подробнее, как осуществляется передача сигнала с космической станции. Для этого представим себе передающую антенну космической лаборатории в виде точечного излучателя (рис. 12), излучающего энергию равномерно во всех направлениях. На расстоянии R от точки излучения вся излучаемая в пространство энергия будет проходить через поверхность воображаемой сферы, имеющей радиус R. Приемная антенна на Земле способна уловить энергию электромагнитных колебаний, пронизывающих лишь ограниченную площадь, которую мы обозначим $S_{пр}$.

Отношение энергии $P_{пр}$, принятой на Земле, ко

всей энергии $P_к$, излучаемой бортовым радиопередатчиком, можно определить из выражения

$$\frac{P_{пр}}{P_к} = \frac{S_{пр}}{4\pi R^2},$$

т. е. эта энергия будет равна отношению площади приемной антенны к площади сферы, описанной радиусом, равным расстоянию между точками приема и передачи.

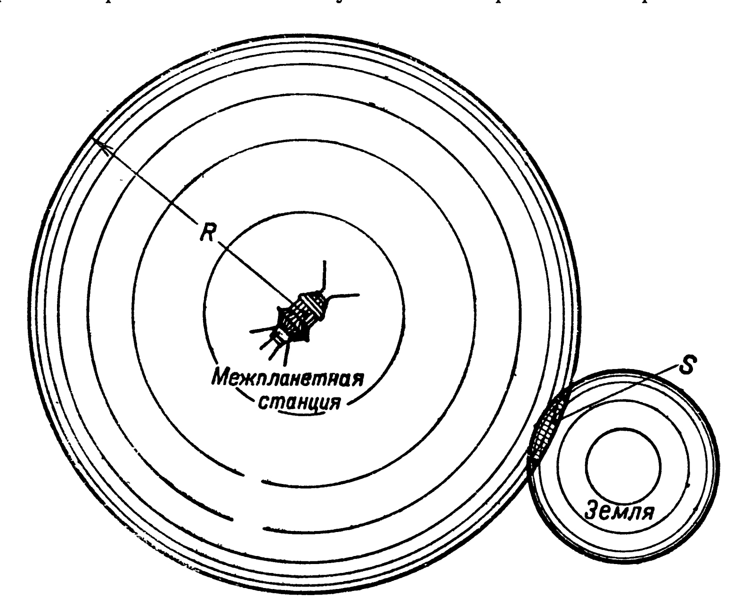


Рис. 12. К расчету излучаемой передатчиком межпланетной станции энергии, достигающей наземной приемной антенны.

Величина $S_{пр}$ зависит от геометрической конфигурации приемной антенны. Допустим, что $S_{пр} = 1$ *м*². Тогда при максимальном удалении радиопередатчика автоматической межпланетной станции от Земли, равном 470 000 *км* (с этого расстояния именно и производилась передача) получим:

$$\frac{P_{пр}}{P_к} = \frac{1}{4\pi(470\cdot10^6)^2} = 0{,}364\cdot10^{-18}.$$

Полученный результат говорит, что при наибольшем удалении от Земли каждый ватт мощности, излучаемой радиопередатчиком автоматической межпланетной станции, соответствует на земной поверхности потоку энергии, примерно в три раза меньшему одной миллиардной от одной миллиардной доли ватта на каждый квадратный метр земной поверхности. В произведенном подсчете не учтены потери энергии на поглощение в ионизированных слоях атмосферы и на отражение от Земли и верхних участков атмосферы. Таким образом, действительная доля принимаемой энергии будет даже меньше расчетной. Очевидно, что уверенный прием таких слабых сигналов осуществлять очень трудно.

Что же можно предпринять для увеличения энергии принимаемых радиосигналов?

Для этой цели можно было бы использовать антенны направленного действия. Направленным действием, как известно, называют способность антенны излучать энергию в нужном направлении (если речь идет о передающей антенне) или принимать сигналы с нужного направления (если речь идет о приемной антенне). Из этого следует, что желательно было бы передающие антенны автоматической межпланетной станции сконструировать так, чтобы по возможности можно было облучать только ту площадь Земли, на которой установлены приемные антенны, и не излучать энергии в других направлениях.

Однако добиться направленного действия антенны космической лаборатории трудно из-за вращения станции вместе с установленными на ней антеннами, т. е. вследствие изменения ориентации антенны по отношению к земным наблюдательным пунктам. Для того, чтобы связь со станцией не прекращалась при ее вращении, антенны станции излучают радиосигналы равномерно во всех направлениях, так что мощность излучения, приходящаяся на единицу поверхности, будет одинаковой для всех точек воображаемой сферы, в центре которой находится передатчик станции.

Ввиду того что в наземную приемную антенну попадает лишь часть излучаемой энергии, которая определяется отношением эффективной площади приемной антенны к поверхности воображаемой сферы с радиусом, равным расстоянию от космической станции до при-

емного пункта, то вполне естественным является стремление использовать большие приемные антенны, обладающие большим коэффициентом направленного действия.

В теории приемных антенн доказывается, что наибольшая полезная мощность, которую способна отдать приемная антенна на вход приемника, выражается формулой

$$P_{\text{А.макс}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_{\text{м}} S,$$

где S — плотность потока электромагнитной энергии, *вт/м²*;

λ — длина волны, *м*;

$G_{\text{м}}$ — наибольший коэффициент усиления антенны, под которым понимают число, показывающее, во сколько раз бо́льшая мощность поступает на вход приемного устройства при приеме на антенну данного типа по сравнению с мощностью, которую можно получить, применяя в качестве приемной антенны простой полуволновый вибратор.

Величина коэффициента усиления $G_{\text{м}}$ связана с коэффициентом направленности антенны D следующим соотношением:

$$G_{\text{м}} = D\eta_{\text{А}},$$

где $\eta_{\text{А}}$ — к. п. д. антенны.

Допустим, что коэффициент направленного действия приемной антенны составляет 60, а к. п. д. — 0,9; тогда максимальная энергия принятого сигнала на входе приемного устройства для $S = 0{,}364 \cdot 10^{-18}$ *вт/м²* и $\lambda = 15$ *м* будет равна:

$$P_{\text{А.макс}} = \frac{(15)^2}{4\pi} 60 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}364 \cdot 10^{-18} = 0{,}35 \cdot 10^{-15} \ \textit{вт}.$$

Что же мешает приему таких сигналов? Казалось бы, что может быть проще: если надо получить на выходе приемного устройства определенный уровень сигнала, то нужно лишь увеличить число усилительных каскадов и проблема будет решена. Однако решение этой проблемы затрудняется не малой величиной принимаемого сигнала, а наличием помех радиоприему. Действительно,

каким бы малым ни был входной сигнал, его можно усилить в любое число раз, но вместе с полезным сигналом усиливаются и паразитные сигналы. А если мощность шумов превышает мощность полезного сигнала, то каков смысл их совместного усиления?

Существует множество природных источников электромагнитных колебаний. Любая электрическая искра — это уже очаг возникновения электромагнитных волн. Непрерывно создаются радиопомехи атмосферными электрическими разрядами. Мешают радиоприему всевозможные промышленные установки и приборы, порождающие электромагнитные колебания. Такими установками являются высокочастотные промышленные устройства, электромедицинское оборудование, электротранспорт, автомобили, электросварочное оборудование и др. К внешним источникам шумов относят также непостоянство напряжений источников питания, механические вибрации и т. д. Кроме того, Земля облучается электромагнитными колебаниями космического происхождения. Все эти мешающие радиоизлучения по своей физической природе такие же, как и радиосигналы, — вот почему так трудно преградить им путь в радиоприемник.

Правда, в диапазоне волн, используемых на третьей космической ракете, внешние помехи действуют слабо. Но в этом радиодиапазоне, как и в любом другом, имеется еще один источник помех, не упоминавшийся нами ранее. Этим источником является само радио-приемное устройство. Появление помех в радиоприемнике объясняется так называемыми электрическими флуктуациями в его различных деталях и узлах (сопротивлениях, конденсаторах, катушках, радиолампах). Флуктуации приводят к тому, что на концах сопротивлений и в контурах приемника из-за беспорядочного движения свободных электронов непрерывно возникают меняющиеся электрические напряжения, даже тогда, когда на входе приемника нет никаких сигналов. При этом величина напряжения флуктуаций пропорциональна величине активной составляющей сопротивления цепи. Обычно для оценки величины флуктуационного напряжения пользуются его так называемым среднеквадратичным значением. Если величина активного сопротивления участка цепи не зависит от частоты, то спектр флуктуационного

напряжения оказывается практически равномерным вплоть до ультравысоких частот. Для подсчета напряжения шума принимают во внимание лишь те частотные составляющие флуктуационного напряжения, которые лежат в пределах полосы пропускания устройства.

Мешающие напряжения порождаются и радиолампами. Ламповые шумы вызываются отклонениями величин анодного и сеточного токов от средних значений при неизменных напряжениях питания. Основная причина колебаний анодного и сеточного токов заключается в том, что ток эмиссии не остается постоянным вследствие непрерывного статистического изменения числа электронов, вылетающих из катода. Это явление носит название дробового эффекта.

Для удобства расчетов обычно считают, что анодный ток идеально постоянен и что флуктуации анодного тока вызваны некоторым переменным напряжением, приложенным между сеткой и катодом лампы. Считается, что это напряжение создается флуктуациями зарядов в некотором эквивалентном по шуму сопротивлении. Величина этого шумового сопротивления определяется параметрами и режимом работы лампы; оно возрастает при увеличении количества сеток.

Флуктуации величины сеточного напряжения лампы вследствие непостоянства сеточного тока пропорциональны корню квадратному из величины сеточного тока. Отсюда следует, что если необходимо уменьшить уровень шумов, то лампу желательно использовать при возможно меньших сеточных токах.

Особенно вредны шумы, возникающие в первом каскаде радиоприемника (во входном контуре и первой лампе).

Хотя общее напряжение шумов незначительно по величине и составляет лишь ничтожные доли вольта, оно оказывается соизмеримым с уровнем сигнала автоматической межпланетной станции и может даже превзойти во много раз уровень полезного сигнала. При этом надо учитывать и то, что в самом сигнале изображения передающего телевизионного устройства имеются помехи, обусловленные различными элементами аппаратуры, в том числе флуктуациями тока луча проекционной трубки, флуктуациями фототока, тока вторичной эмиссии в фотоэлектронном умножителе и т. д.

Если величина помех на входе первого усилительного каскада, вызываемых различными причинами, превышает уровень принимаемого сигнала, прием этого сигнала будет затруднен или вообще невозможен, так как в последующих каскадах приемника шумы будут усиливаться в огромное число раз. Таким образом, предельная чувствительность приемника ограничена помехами, т. е. уровнем помех определяется наименьший уровень сигнала, который может быть принят данным радиоприемным устройством. В телевидении считается, что для получения хорошего качества телевизионного изображения амплитуда полезного сигнала должна превосходить эффективное значение шумового напряжения не менее чем в несколько десятков раз.

Принимая различные меры, можно уменьшить уровень помех, вызываемых внешними причинами. Шумы же, возникающие в передающем и приемном устройствах из-за электрических флуктуаций, неизбежны. Их удается ослабить, но совсем устранить невозможно, так как мы не в состоянии остановить тепловое движение молекул.

Рассмотрим теперь понятие мощности шумов. Любое активное сопротивление, являясь источником шумов, при подключении его ко внешней цепи может выделить в этой цепи шумовую мощность, наибольшее значение которой выражается формулой

$$P_{\text{макс}} = KTF,$$

где K — постоянная Больцмана;

T — абсолютная температура сопротивления (в градусах Кельвина);

F — полоса частот передаваемого сигнала, *гц*.

Равенство мощности сигнала и мощности суммарного шума, вносимого приемником и антенной, будет на выходе приемника в том случае, если на вход его подается мощность сигнала, равная

$$P_{\text{с.п}} = N_{\text{э}} KTF.$$

В этом выражении коэффициент шума $N_{\text{э}}$ показывает, во сколько раз реальный радиоприемник при работе его на реальную антенну ухудшает отношение сигнал/шум по мощности по сравнению с идеальным при-

емником, который не добавляет шумов к шумам антенны. Таким образом, в данном случае коэффициентом шума $N_э$ учитываются как шумы самого приемного устройства, так и шумы приемной антенны, обусловленные воздействием внешних, преимущественно космических шумов.

Полосу частот, необходимую для передачи изображения, можно определить, представляя изображение в виде конечного числа единичных (дискретных) элементов. Связь числа элементов изображения с полосой частот выражается формулой

$$F = \frac{n}{2T},$$

где n — число элементов изображения;
T — время передачи полного изображения (например, кадра).

Разберем такой пример. Допустим, что все изображение разбивается на отдельные квадратные элементы со сторонами, равными высоте одной строки. Допустим далее, что изображение Луны разлагается на 1 000 строк, а отношение ширины изображения к его высоте составляет 1 : 1. Тогда число элементов в каждой строке будет равно 1 000, а в полном изображении — $1\,000^2 = 1\,000\,000$. Если каждое изображение передавать 25 раз в секунду, как это делается в телевидении, то общее число электрических сигналов, посылаемых в секунду по телевизионному каналу, будет равно числу элементов в одном кадре, умноженному на число кадров, т. е. $25 \cdot 10^6$, а полоса частоты, на пропускание которой этот канал должен быть рассчитан, оказывается равной примерно 12,5 *Мгц*.

Полагая $N_э = 5$, $T = 290°$ K и $F = 12{,}5 \cdot 10^6$ *гц*, определим минимально необходимую мощность сигнала, соответствующую равенству сигнала и шумов:

$$P_{с.п} = 5 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \cdot 12{,}5 \cdot 10^6 = 2{,}5 \cdot 10^{-13}\ вт.$$

Для получения хорошего качества телевизионного изображения необходимо, чтобы мощность сигнала в десятки раз превышала мощность шумов. Допустим, что мощность сигнала должна превышать мощность шумов

в 60 раз. В этом случае мощность принятого сигнала должна быть равна

$$P_{с.р} = 2{,}5 \cdot 10^{-13} \cdot 60 = 1{,}5 \cdot 10^{-11} \text{ } вт.$$

Ранее мы получили мощность, прием которой реально обеспечивается бортовым и наземным устройствами (при принятых нами допущениях). Эта мощность составляет примерно $P_{А.макс} = 0{,}35 \cdot 10^{-15}$ *вт*.

Таким образом, оказывается, что мощность, необходимая для обеспечения хорошего качества телевизионного изображения при числе кадров, равном 25, и числе строк 1 000, в десятки тысяч раз больше той, которую обеспечивает нам радиопередатчик автоматической межпланетной станции.

Какой же выход можно найти из создавшегося положения? Как решить эту сложную проблему — передать на огромное расстояние фотографическое изображение обратной стороны Луны?

В первую очередь были предприняты меры по созданию очень высокочувствительных радиоприемников, обладающих малым уровнем собственных шумов. Были созданы также специальные приемные антенны, обладающие высоким коэффициентом направленности. Но одни эти средства, как бы умело они ни использовались, решить возникшую проблему не могли.

Решению проблемы способствовало использование особых методов передачи и приема.

Известно, что при одинаковом числе элементов разложения и одинаковой мощности передатчика ширина полосы частот, необходимая для передачи сообщения, может быть уменьшена за счет увеличения времени передачи. При этом дальность передачи повышается пропорционально квадратному корню увеличения времени передачи.

Но в связи с большой скоростью полета космических ракет при определении ширины полосы пропускания приемника необходимо учитывать и эффект Допплера. Этот эффект проявляется на приемной стороне при движении радиоприемника или передатчика в виде изменения частоты принимаемых электромагнитных колебаний. Если приемник и передатчик сближаются, то каждую секунду приемная антенна встречает большее чис-

ло волн, чем при отсутствии движения. Это значит, что частота принятого сигнала при этом возрастает. Если же источник колебаний и приемник удаляются друг от друга, то число волн, ежесекундно воспринимаемых приемником, будет меньше, чем при отсутствии движения. Этот эффект будет проявляться тем больше, чем больше скорость относительного перемещения приемника и передатчика v и чем меньше длина волны колебаний λ.

Ширина полосы пропускания приемника F_p с учетом эффекта Допплера составляет:

$$F_p = F + \frac{v}{\lambda},$$

где F — ширина полосы пропускания, соответствующая условию обычного приема сигналов, а v/λ — допплеровский сдвиг частоты.

При очень больших скоростях полета отношение v/λ становится довольно большим, что требует значительного расширения полосы пропускания и ведет к уменьшению дальности радиосвязи.

Ранее было показано, что мощность принятого на Земле сигнала бортового радиопередатчика в десятки тысяч раз меньше необходимой для создания достаточно удовлетворительного телевизионного изображения. Это сравнение фактической и требуемой мощностей соответствует передаче 25 кадров в секунду при числе строк разложения, равном 1 000.

Для передачи на Землю изображения высокой четкости советские специалисты уменьшили скорость передачи сигналов изображения Луны в десятки тысяч раз, благодаря чему и удалось главным образом решить проблему передачи изображений на космические расстояния.

Допустим, что скорость передачи понижена в 45 000 раз по сравнению с используемой в телевизионном вещании. Тогда время передачи одного кадра изображения составит:

$$T_к = \frac{1}{25} 45\,000 = 1\,800 \ сек = 30 \ мин.$$

Передача сигналов с такой скоростью и воспроизведение на Земле соответствующих изображений связаны

с преодолением ряда трудностей. Остановимся на главной из них.

В обычном телевидении слитное и немелькающее изображение получается благодаря использованию ряда особенностей зрения человека и главным образом инерционности зрительного восприятия и конечной разрешающей способности глаза.

Инерционность зрительного восприятия проявляется в том, что после начала светового раздражения, имеющего постоянную интенсивность, ощущение (кажущаяся яркость) постепенно нарастает, а после окончания раздражения так же постепенно падает. Благодаря этому свойству при достаточно быстрых периодических изменениях яркости рассматриваемого объекта глаз перестает реагировать на эти изменения и воспринимает лишь среднее значение яркости. Частота периодического изменения яркости объекта, при которой прекращаются мелькания, раздражающие глаз, и начинает восприниматься лишь средняя яркость объекта, называется критической частотой мельканий. Она составляет для различных условий наблюдения и свойств изображения 10—20 мельканий в секунду. Критической частотой мелькания определяется частота повторения телевизионных кадров.

Таким образом, если мы будем воспроизводить на приемном конце изображение с той же скоростью, с какой производится передача сигналов изображения с межпланетной станции, то слитного изображения, казалось бы, получить нельзя, ибо электронный луч будет слишком медленно перемещаться по экрану приемной трубки. Только на то, чтобы прочертить одну строку, ему понадобится несколько секунд.

Каким образом может быть решена эта проблема?

Непрерывность зрительного восприятия изображения в этом случае в принципе может быть получена за счет использования таких приемных трубок, которые обладают большим временем послесвечения экрана. Трубки обычного устройства таким большим временем послесвечения не обладают. Правда, сейчас уже существуют специальные трубки, предназначенные для длительного сохранения изображения на экране. Кроме того, в настоящее время разработаны такие приборы, которые позволяют производить запись электрических сиг-

налов медленно, а считывать их — со скоростью, во много раз превышающей скорость записи.

Существуют и другие методы передачи сигналов изображения и последующего воспроизведения их с необходимой скоростью. Подробно об этом будет рассказано дальше.

Необходимо отметить и то, что визуальное наблюдение изображения, создаваемого в процессе передачи, необходимо в основном для контроля работы бортовой и наземной аппаратуры. Целью передачи сигналов изображения является создание фотографических изображений, а это может быть осуществлено применением методов фототелеграфии.

Выше отмечалось, что экспозиция фотопленки на автоматической межпланетной станции умышленно изменялась от кадра к кадру. Средняя плотность обработанных негативов при этом оказывалась различной, в результате чего уровни сигналов изображения, снимаемых с нагрузки фотоэлектронного умножителя, были различными. Чтобы устранить разность уровней, был специально разработан узкополосный стабилизированный усилитель. В этом усилителе производилось автоматическое выравнивание выходного сигнала.

На качество изображения большое влияние оказывает линейность развертывающих напряжений. Известно, что реальные отклоняющие системы обладают той или иной степенью нелинейности. При этом с уменьшением частоты развертки возрастают и трудности создания линейной развертки. Трудности возникают из-за влияния посторонних магнитных полей и нестабильности высокого напряжения в электронно-лучевых трубках. Если бы можно было сделать так, чтобы скорость движения развертывающего луча трубки приемника точно следовала за любым изменением скорости луча в передающей трубке, то в принципе было бы не важно, сохраняется ли эта скорость строго постоянной. Однако чем меньшими будут изменения скорости движения электронного луча на передающей стороне, тем легче будет обеспечить с необходимой точностью определенную скорость развертки в приемнике.

Для точной работы электронно-лучевые трубки на передающей и приемной сторонах должны быть защищены не только от магнитных полей рассеяния (глав-

ным образом от источников питания), но и токи и напряжения, используемые в системах отклонения луча, должны быть свободными от фона. Особая забота должна проявляться в отношении стабильности ускоряющих напряжений электронно-лучевых трубок, так как непостоянство этих напряжений приводит к изменению чувствительности по отклонению электронного луча.

Для обеспечения хорошей линейности при малых скоростях развертки в ряде случаев используют устройства, имеющие частично механическую и частично электронную схему, так как в механической системе легче добиться лучшей линейности.

Развертывающие устройства, использовавшиеся для отклонения электронного луча трубки в межпланетной станции, обладали высокими линейностью и экономичностью.

Сложным является и вопрос синхронизации развертывающих устройств. Эта трудность также была успешно преодолена. Для синхронизации передающих развертывающих устройств с приемными устройствами на Земле использовался метод, который обеспечивал высокие помехоустойчивость и надежность работы аппаратуры.

На автоматической межпланетной станции было сделано большое количество фотографий обратной стороны Луны, для передачи которых требовалось много времени. Для ускорения процесса передачи информации о поверхности нашего естественного спутника были использованы два режима передачи сигналов. В то время, когда станция была далеко от Земли и мощность поступающих сигналов от нее была очень малой, передача осуществлялась очень медленно. При приближении к нашей планете мощность поступающих в приемные антенны сигналов со станции увеличивалась, что позволяло увеличить скорость передачи.

Советские специалисты стремились использовать любую возможность для получения максимальной информации от бортовой аппаратуры. Так, например, телевизионная система позволяла в зависимости от условий передачи осуществлять изменение числа строк, на которое разлагалось изображение Луны. Максимальное число строк доходило при этом до 1 000 на один кадр. Напомним для сравнения, что в телевизионном веща-

нии СССР число строк равно 625, в США — 525, а в Англии — еще меньше — 405 строк. Если отношение ширины изображения к его высоте в телевизионной системе третьего советского спутника равно 1 : 1, то число воспроизводимых на Земле элементов составило 1 000 · 1 000 = 1 000 000. В обычном телевидении отношение ширины изображения к его высоте составляет 4 : 3, т. е. можно считать, что в одной строке укладывается $625 \cdot {}^{4}/_{3} = 833$ элемента. Таким образом, системы с разложением изображения на 625 строк рассчитаны на передачу 625 · 833 = 520 000 элементов, а системы телевизионного вещания США и Англии — соответственно на 370 000 и 220 000 элементов. Эти примеры наглядно показывают высокую степень совершенства телевизионной аппаратуры, использованной на автоматической межпланетной станции.

Естественно, что проведение столь грандиозного научного эксперимента требовало принятия мер, обеспечивающих невосприимчивость системы в целом к каким-либо неожиданностям, могущим вызвать выход из строя того или иного ее узла. Эти меры заключались, в частности, в том что работа всей аппаратуры линии радиосвязи как на борту, так и на наземных пунктах дублировалась. Это позволило повысить надежность передачи сообщений с автоматической межпланетной станции и передачи команд с Земли на космическую станцию. В случае выхода из строя одного из приборов на борту станции или исчерпания ресурсов его работы он мог быть заменен резервным прибором. Для этого достаточно было подать соответствующую команду с наземного пункта управления.

Передача изображений Луны, как мы уже отмечали, осуществлялась по командам с Земли. Этими командами включались питание бортовой телевизионной аппаратуры, протяжка фотопленки и производилось подключение телевизионной аппаратуры к радиопередатчикам.

Важно подчеркнуть то обстоятельство, что работы по созданию телевизионных систем с пониженной скоростью передачи начали проводиться впервые в Советском Союзе. Эти работы были начаты в 30-х годах группой московских специалистов, руководимой проф. С. И. Катаевым.

Работами проф. С. И. Катаева, выполненными в то время, были заложены основы создания узкополосных телевизионных систем с малокадровым способом разложения.

ПРИЕМ СИГНАЛОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ЗЕМЛЕ

Дошедшие до Земли сигналы радиопередатчика космической станции по кабелю подводились к радиоприемному устройству. Здесь эти слабые сигналы усиливались и преобразовывались. На выходе детектора создавались уже сигналы изображения, которые затем дополнительно усиливались.

Сигналы изображения фиксировались тремя способами: на кинофотопленку, в аппаратах магнитной записи и на специальных электронно-лучевых трубках с длительным послесвечением. Производилась также запись изображений на электрохимической бумаге в фототелеграфных аппаратах открытой записи.

Как видно из сказанного, регистрация сигналов изображения, принятых наземными приемными пунктами, производилась многими способами. Это позволяло осуществлять необходимое резервирование и производить визуальный контроль процесса передачи. Кроме того, регистрация сигналов различными способами позволила устранить специфические искажения, возникшие на линии радиосвязи и в самих регистрирующих устройствах.

Рассмотрим подробнее принципы работы регисгрирующих устройств.

Запись сигналов изображения на магнитную ленту. Одним из методов фиксации сигналов изображения обратной стороны Луны была запись электрических телевизионных сигналов на магнитную ленту. Сохраняясь неограниченно долгое время, однажды сделанная магнитная запись может по желанию многократно воспроизводиться с помощью устройства, аналогичного записывающему.

Рассмотрим устройство простейшей системы записи и воспроизведения сигналов изображения. Схема записывающего аппарата представлена на рис. 13,*а*. С подающей кассеты с помощью лентопротяжного механизма протягивается в приемную кассету лента с нанесенным на нее слоем ферромагнитного материала. Наибольшее распространение получили магнитные носители

в виде слоя лака, содержащего ферромагнитный порошок (окись железа или магнетит). Этот слой наносится на ленту толщиной 20—50 *мк* из ацетилцеллюлозы, триацетата, поливинилхлорида или другого эластично-

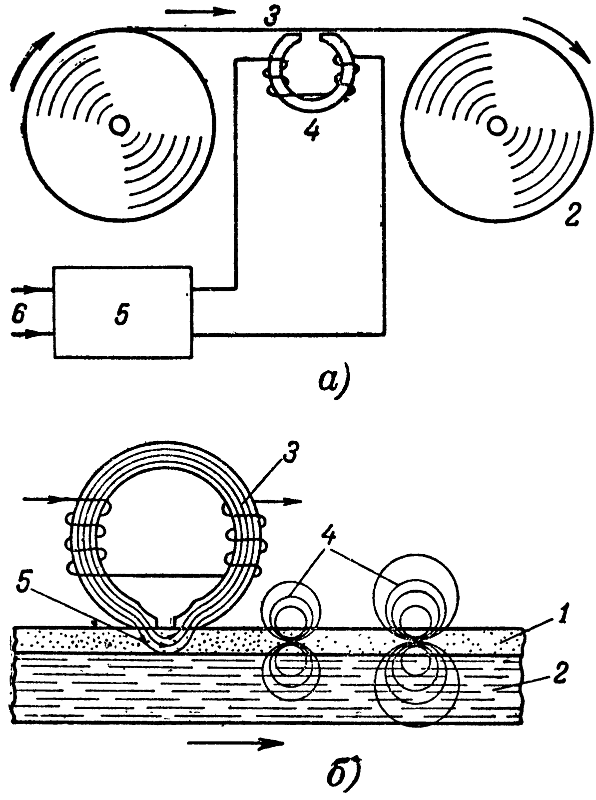


Рис. 13. К пояснению принципа записи сигналов изображения на магнитную ленту.

а — основные детали аппаратуры (*1* — подающая кассета; *2* — принимающая кассета; *3* — магнитная лента; *4* — записывающая головка; *5* — усилитель сигналов изображения; *6* — вход усилителя сигналов изображения); *б* — к пояснению действия магнитной головки (*1* — магнитный слой ленты; *2* — основа; *3* — записывающая головка; *4* — силовые линии магнитного поля; *5* — пишущее магнитное поле).

го материала. Лента хранится в виде рулонов в специальных кассетах.

При записи лента протягивается с равномерной скоростью у полюсов записывающей магнитной головки че-

рез зону, где действует переменное магнитное поле. Головка представляет собой специально сконструированный, чаще всего кольцевой электромагнит с зазором. Сердечник его изготовляется из магнитно-мягкого материала высокой проницаемости.

По обмотке магнитной головки пропускается ток сигнала изображения, поэтому мгновенное значение напряженности магнитного поля в зазоре сердечника головки пропорционально мгновенному значению сигнала изображения и закон изменения напряженности поля соответствует закону изменения сигнала. В процессе записи каждый элемент носителя подвергается намагничиванию в соответствии с мгновенным значением напряженности поля в зазоре.

Вследствие явления остаточного магнетизма магнитное состояние носителя сохраняется долгое время после того, как запись закончена (рис. 13,*б*).

Считывание сигналов с магнитной ленты осуществляется устройством, аналогичным записывающему. Лента равномерно протягивается вблизи полюсов воспроизводящей головки, сходной по конструкции с записывающей; при этом намагниченные участки движущейся ленты наводят в обмотке головки э. д. с. Так как остаточная индукция разных участков магнитной ленты, на которой произведена запись, различна и при движении ленты меняется по длине ее по закону изменения сигнала изображения, то индуктированная в обмотке головки э. д. с. будет пропорциональной сигналу изображения.

Магнитная запись может быть уничтожена специальной стирающей головкой. Один из способов стирания заключается в том, что, пропуская ленту через поле постоянного магнита, доводят индукцию носителя до насыщения и выравнивают, таким образом, все переменные остаточные индукции, а затем с помощью постоянного магнитного поля обратного направления ленту размагничивают и доводят индукцию до нуля.

Считывание сигналов с магнитной ленты для неискаженного воспроизведения изображения должно проводиться при условии равномерного перемещения ленты как при записи, так и при считывании.

Для воспроизведения записанного кадра на экране электронно-лучевой трубки можно воспользоваться не-

сколькими способами. Можно, например, осуществить многократную перезапись зафиксированных сигналов. Так как запись производилась медленно, то для воспроизведения изображения на экране обычной приемной электронно-лучевой трубки ленту нужно протягивать с большой скоростью.

Запись сигналов изображения на фотопленку. Принцип действия одной из систем записи сигналов изобра-

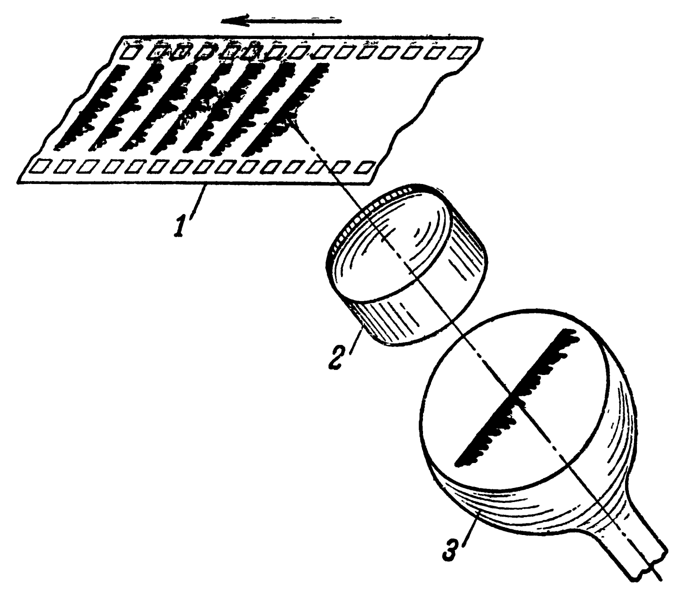


Рис. 14. Принцип записи сигналов изображения на кинопленку.
1 — кинопленка; 2 — объектив; 3 — электронно-лучевая трубка.

жения на кинофотопленку поясняется на рис. 14. Здесь используется система развертки с электронно-лучевой трубкой, работающей по принципу бегущего светового пятна.

Светящееся пятно, образуемое на экране электронно-лучевой трубки, равномерно перемещается слева направо. Перемещение пятна осуществляется пилообразным напряжением генератора развертки, прикладываемым к горизонтальным отклоняющим пластинам. Частота пилообразных колебаний генератора развертки синхронизируется строчными синхронизирующими сиг-

налами, посылаемыми передатчиком космической станции. За каждый период колебаний пятно перемещается от левого крайнего в правое крайнее положение и затем быстро возвращается в исходное положение. К вертикально отклоняющим пластинам прикладывается высокочастотное напряжение с частотой около 15 *Мгц*, модулированное по амплитуде сигналами изображения. В результате на экране появляется светящаяся полоска, высота которой изменяется при изменении силы сигнала изображения. Изображение этой полоски с помощью объектива проецируется на кинофотопленку. Пленка равномерно движется перед объективом, и на ней прочерчивается ряд параллельных полосок.

Для воспроизведения записи пленку, подвергнутую предварительно фотографической обработке, протягивают в воспроизводящем устройстве этой системы и просвечивают бегущим световым пятном, проецируемым с экрана проекционной электронно-лучевой трубки. С другой стороны пленки устанавливается фотоэлемент, преобразующий изменения проходящего светового потока в электрические сигналы изображения.

Пленка при воспроизведении может протягиваться с другой скоростью, чем при записи. Важное значение при воспроизведении имеет правильное и стабильное положение светящейся полоски. Практически из-за неравномерности движения пленки и нестабильности питающих напряжений электронно-лучевой трубки это условие полностью выполнить не удается. Поэтому в системе предусматривается цепь обратной связи, стабилизирующая положение световой полоски относительно записанной дорожки.

Здесь был рассмотрен метод поперечной оптической записи сигналов изображения. В принципе может быть использован и метод записи, основанный на изменении оптической плотности пленки. В этом случае модуляция светового пятна осуществляется подачей сигналов изображения на управляющий электрод электронно-лучевой трубки.

Сигналы изображения, записанные тем или иным способом на фотопленку или магнитную ленту, могут быть затем использованы для получения изображения на каком-либо светочувствительном материале. На рис. 15 приведена блок-схема записывающего устройства

с электронной разверткой изображения. Сигнал изображения подается здесь на управляющий электрод электронно-лучевой трубки. Генератор развертывающих колебаний создает колебания, с помощью которых осуществляется развертка изображения на экране трубки. С помощью оптической системы световое изображение переносится на поверхность светочувствительного материала. Перемещение светочувствительного материала производится здесь специальным механизмом подачи.

Получение изображения с экрана трубки возможно

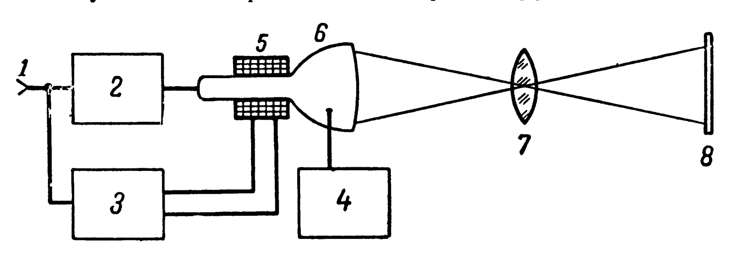


Рис. 15. Блок-схема записывающего устройства с электронной разверткой изображения.

1 — вход сигналов изображения, *2* — усилитель сигналов изображения; *3* — генератор развертывающих колебаний; *4* — источник высокого напряжения трубки; *5* — фокусирующе-отклоняющая система; *6* — электронно-лучевая трубка; *7* — объектив; *8* — светочувствительный материал.

как при применении фотографического, так и специальных электрофотографических способов записи. При использовании фотографического способа в качестве светочувствительного материала используют фотопленку или фотобумагу повышенной чувствительности.

Сущность электрофотографического воспроизведения заключается в следующем. На проводящую подложку наносят тонкий слой светочувствительного полупроводникового материала, в качестве которого используются селен, сера, сернистый свинец, окись цинка и другие материалы и их сочетания. Полупроводниковый фотослой заряжают до некоторого потенциала (порядка нескольких сотен вольт), для чего этот слой протягивают мимо провода, имеющего потенциал 5—8 *кв*. При этом на поверхности провода происходит коронирующий разряд. Так как электропроводность фотослоя в темноте очень низка, то поверхность его удерживает заряд достаточно долго. Затем на этот светочувствительный слой

проецируется или записывается световым лучом изображение, снижающее в соответствующих местах сопротивление полупроводникового слоя. В результате на поверхности светочувствительного слоя образуется глубокий потенциальный рельеф, представляющий собой невидимое глазом электрическое изображение в виде распределения зарядов различной плотности.

Изображение можно сделать видимым, если опылить поверхность этого слоя мелким порошком, частицы которого имеют заряд, противоположный знаку заряда слоя. Чем больший электрический заряд несет та или иная точка поверхности полупроводника, тем больше частиц притягивается к этим точкам. Те элементы изображения, которые не были облучены светом, имеют малую фотопроводимость и потому сохраняют большой заряд; потому они покрываются плотным слоем порошка. Освещенные ранее элементы поверхности светочувствительного слоя теряют весь или часть заряда вследствие увеличения фотопроводимости слоя; они не в состоянии притянуть частицы порошка и потому будут светлыми.

Светочувствительный слой может быть нанесен либо непосредственно на бумагу, либо на металлическую поверхность (в этом случае изображение, образованное порошком, переносится впоследствии на бумагу). Запись непосредственно на электрофотографическую бумагу обладает тем недостатком, что светочувствительность такой бумаги снижается, а это не позволяет записывать изображения с большими скоростями. В случае же использования отдельного фотопроводящего слоя, нанесенного на металлическую поверхность, удается достигнуть лучших результатов и получить более высокую чувствительность. При записи изображения этим способом светочувствительный слой удобно наносить на барабан, а строку развертки располагать при этом вдоль образующей цилиндра (рис. 16). Барабан медленно вращается; при этом часть поверхности фотопроводящего слоя сначала заряжается, затем освещается модулированным лучом света и опыляется красящим порошком, после чего краситель переносится на обыкновенную бумагу. Такая конструкция воспроизводящего устройства дает возможность почти сразу же просматривать изображение на отпечатке.

Еще проще осуществляется запись на ленту из электрофотографической бумаги. Устройство подобного записывающего аппарата показано на рис. 17.

Закрепление порошков на бумаге производится нагреванием ее так, чтобы нанесенный на ее поверхность порошок, в состав которого входят смолистые вещества, расплавился и тем самым прочно закрепился на бумаге. Весь процесс обработки при использовании элек-

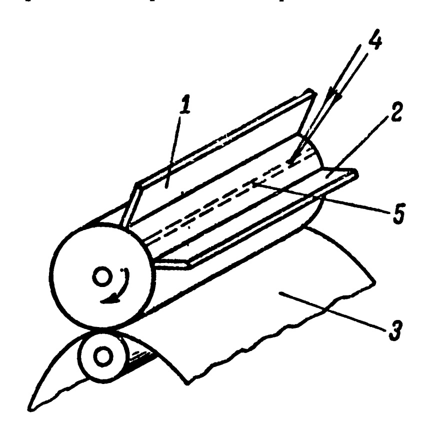


Рис. 16. Схема электрофотографической записи на барабане.

1 — зарядное устройство; *2* — опылитель; *3* — бумага; *4* — модулирующий световой поток; *5* — строка развертки.

трофотографического способа занимает всего несколько секунд.

Запись изображений скиатронами. Для воспроизведения изображения Луны были использованы также электронно-лучевые трубки с длительным послесвечением — скиатроны, представляющие собой приборы клапанного типа.

Принцип работы приборов клапанного типа поясняется схематически на рис. 18. На этом рисунке показан световой модулятор, работающий на просвет, т. е. изображен прибор диаскопической системы. Независимый источник света с помощью оптики равномерно освещает одну из сторон светового модулятора — экрана скиатрона, прозрачность отдельных элементов которого неравномерна и определяется проецируемым изображе-

нием. Телевизионное изображение с другой стороны экрана скиатрона, яркость которого определяется яркостью независимого источника света, проецируется объективом на светорассеивающий экран.

Устройство скиатрона схематически показано на рис. 19. Действие светового клапана, применяемого в этих трубках, основано на изменении прозрачности

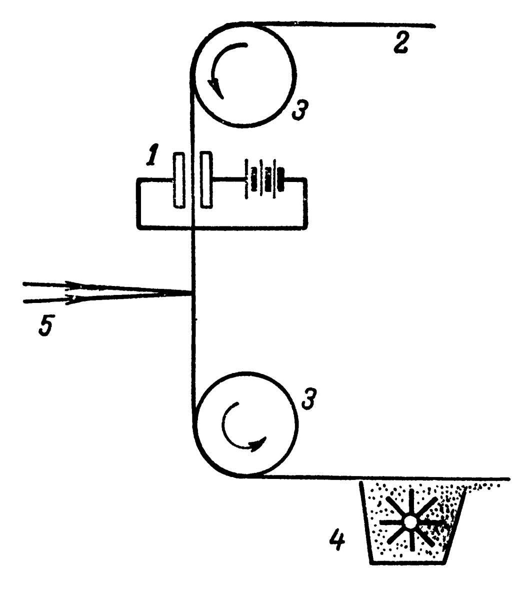


Рис. 17. Схема электрофотографической записи на ленте из электрофотографической бумаги.

1 — зарядное устройство; *2* — электрофотографическая бумага; *3* — ролик лентопротяжного механизма; *4* — опылитель; *5* — световой пучок.

некоторых кристаллических веществ при изменении интенсивности облучающего их электронного пучка. Этими свойствами обладают некоторые кристаллы, например, поваренная соль, хлористый и бромистый калий. Электронный пучок создает на одной из сторон пластинки из такого вещества негативное изображение, пластинка же просвечивается источником света, и полученное изображение с помощью объектива проецируется на экран.

В настоящее время используются также системы про-

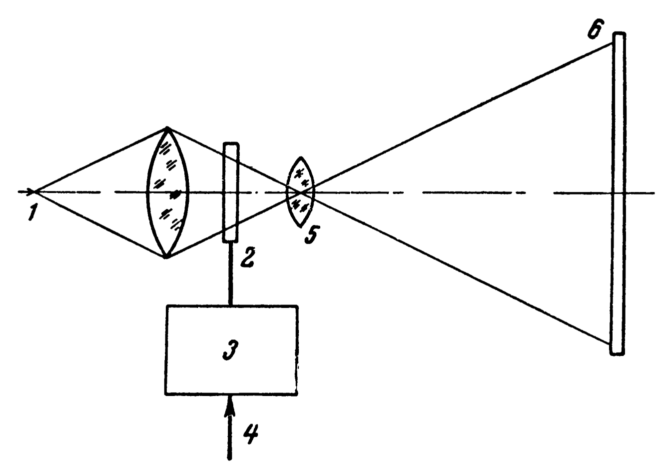


Рис. 18. К объяснению принципа работы приборов клапанного типа.

1 — интенсивный источник света; *2* — световой модулятор; *3* — видеоусилитель; *4* — вход сигналов изображения; *5* — объектив; *6* — светорассеивающий экран.

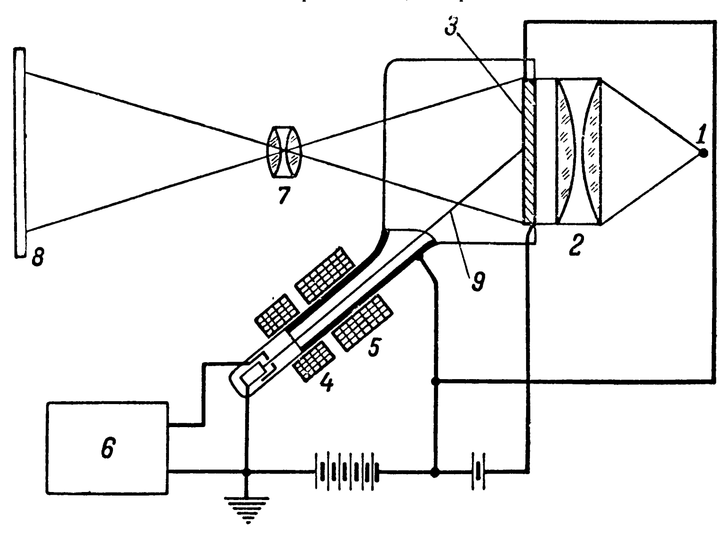


Рис. 19. Схема телевизионной проекционной системы со скиатроном.

1 — источник света; *2* — конденсор; *3* — экран скиатрона; *4* — фокусирующая система; *5* — отклоняющая система; *6* — усилитель сигналов изображения; *7* — объектив; *8* — проекционный экран; *9* — электронный пучок.

екции изображения, в которых световой модулятор работает на отражение. Такие системы называются эпископическими. На рис. 20 приведено схематическое изображение проекционной и осветительной оптики такой системы.

Экран скиатрона состоит в основном из тонкого слоя кристаллов щелочно-галоидных солей, обычно хлористого калия. Отдельные элементы экрана, подвергнутые

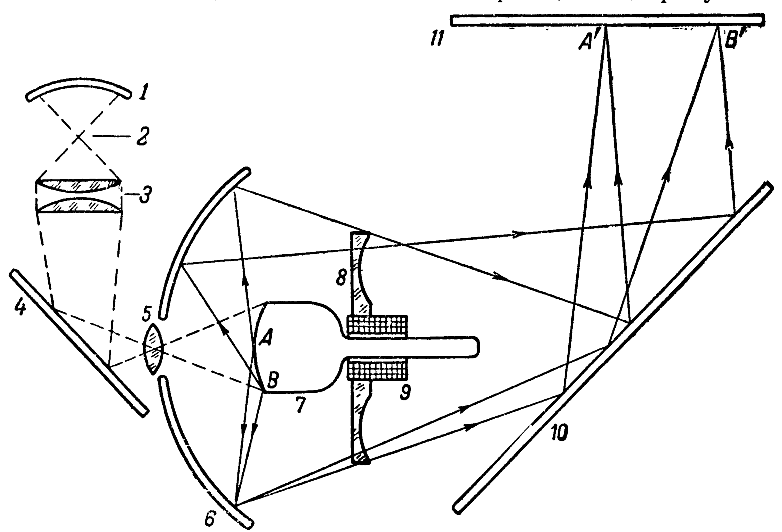


Рис. 20. Проекционная и осветительная оптика регистрирующего устройства с проекционной трубкой (скиатроном).

1 — рефлектор; 2 — источник света; 3 — конденсор; 4 и 10 — зеркала; 5 — собирающая линза; 6 — сферическое зеркало; 7 — скиатрон; 8 — корректирующая линза; 9 — фокусирующе-отклоняющая система; 11 — светорассеивающий экран.

бомбардировке электронным пучком, обладают способностью поглощать лучи видимого света. Таким образом, если производится развертка модулированным электронным пучком, то, освещая экран такой трубки белым светом, мы сможем наблюдать записанное на нем изображение. Если изображение, воспроизведенное на экране скиатрона, равномерно освещено яркой лампой системы, состоящей из независимого источника света и осветительной оптики (два зеркала и конденсор), то отраженный от экрана скиатрона свет можно спроецировать специальной оптикой на светорассеивающий экран.

В такой системе используется отражательная оптика, основанная на способности вогнутого сферического зеркала создавать при определенных условиях увеличенное изображение предмета. Возникающие при этом искажения изображения устраняются использованием специальной корректирующей линзы, помещаемой перед зеркалом в плоскости, проходящей через центр кривизны сферического зеркала.

Скиатроны часто называют трубками с темновой записью, так как с увеличением плотности электронного пучка, бомбардирующего экран, увеличиваются светопоглощающие свойства экрана. Время существования темных пятен на экране зависит от интенсивности сигналов, числа последовательных импульсов возбуждения одного и того же элемента экрана и интенсивности источника света. Для получения на светорассеивающем экране позитивного изображения в скиатроне необходимо использовать сигнал изображения обратной полярности.

Полученное на экране скиатрона изображение может быть использовано для контроля космической телевизионной передачи и визуального изучения передаваемого изображения. Оно может быть также сфотографировано.

Воспроизведение изображений на электрохимической бумаге. Как сообщалось в печати, при приеме сигналов изображения с автоматической межпланетной станции использовалась также открытая запись изображения на электрохимической бумаге.

Открытой записью изображений называют такую фототелеграфную запись, которая может производиться в любых условиях освещения и видна оператору в течение всего процесса приема изображения.

В данном случае речь идет об открытой записи, осуществляемой электроконтактными устройствами на специальную электропроводящую бумагу. Бумага может использоваться в виде отдельных бланков или лент; ширина ленты при этом равна длине строки воспроизводимого изображения.

Для записи изображения на электрохимическую бумагу в виде ленты применяется система, в состав которой входят следующие основные части (рис. 21): вращающаяся одновитковая спираль, прижимная или пи-

шущая планка с острой нижней гранью, расположенная параллельно образующей барабана, прижимные пружины и система лентопротяжных валиков, предназначенная для протягивания бумаги. Одновитковая спираль может выполняться либо в виде спирально изогнутой пластины, укрепленной соответствующими держателями на оси, либо в виде витка проволоки, наложенного на цилиндрический барабан.

Пишущая планка при помощи пружин непрерывно прижимается к бумаге. Сигнал изображения прикладывается между планкой и спиралью цилиндра. Так как бумага обладает электропроводностью, то электрическая цепь записи всегда является замкнутой.

При вращении барабана точка соприкосновения бумаги со спиралью перемешается параллельно оси барабана и каждый оборот барабана соответствует одной строке изображения. Продольное перемещение ленты осуществляется с помощью лентопротяжных валиков.

При больших форматах воспроизводимого изображения записывающее устройство со спиралью становится очень громоздким. Действительно, чем больше длина строки записи, тем больше должен быть диаметр спи-

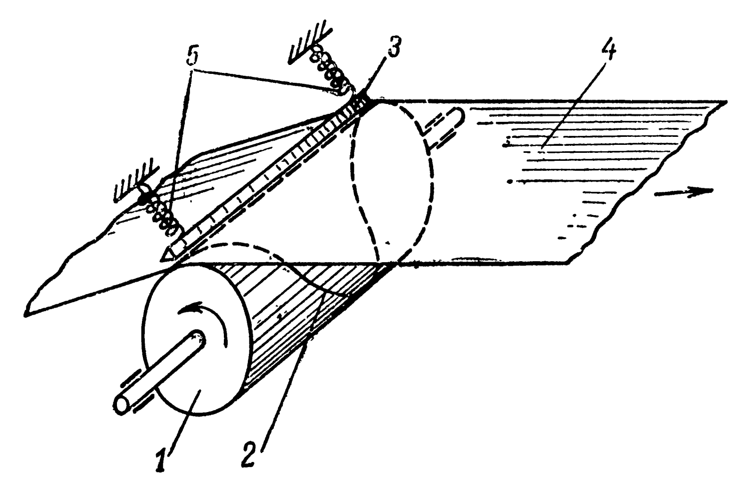


Рис. 21. Электромеханическое устройство для записи на электрохимическую бумагу.

1—барабан; 2—спираль; 3—пишущая планка, 4—электрохимическая бумага; 5—пружины.

рали, чтобы угол между планкой и спиралью не был меньше 45—60°, так как при малых углах разрешающая способность устройства, т. е. способность воспроизводить мелкие детали изображения, резко снижается.

Для уменьшения размеров записывающего устройства вместо пишущей планки применяют вторую спираль; тогда воспроизводимый элемент создается в точке пересечения двух вращающихся спиралей. Следующим усовершенствованием такого двухспирального устройства может быть применение многовитковых спиралей. Обычно многовитковой делают только одну из спиралей; при этом скорость вращения барабана можно уменьшить во столько раз, сколько имеется витков спирали. Такая конструкция позволяет получить малые размеры воспроизводимого элемента даже для длинных строк при сравнительно небольших диаметрах спиралей.

Используемая для записи бумага обладает свойством электропроводимости и способностью давать так называемую цветную реакцию на прохождение электрического тока. Сущность цветной реакции бумаги состоит в том, что в момент прохождения тока в ней происходят химические превращения, в результате которых вещества с окраской одного цвета превращаются в новые вещества с другой окраской. Электрохимические электропроводящие бумаги обладают ионной проводимостью электролитов. Цветная реакция здесь является следствием электролиза. Прохождение электрического тока может вызвать изменение цвета предварительно химически обработанной бумаги (в точке ее соприкосновения с планкой и спиралью) в результате таких процессов, как электролиз, разряд на электроде, находящемся в контакте с бумагой, и других физических явлений.

Общая технология получения электрохимической бумаги состоит в том, что обыкновенную белую бумагу определенного сорта пропитывают химическим раствором и после этого сохраняют до записи в сухом или влажном состоянии. В первом случае бумагу перед записью необходимо увлажнить, во втором случае бумага всегда готова для ведения записи.

Чтобы придать бумаге свойство цветной реакции, в раствор необходимо добавить какое-либо красящее вещество — индикатор. В качестве индикаторов применяются слабо диссоциированные органические кислоты

(или щелочи), которые в результате прибавления щелочи (или кислоты) превращаются в соли и изменяют свою окраску.

ФОТОГРАФИЯ НЕВИДИМОЙ СТОРОНЫ ЛУНЫ ПОЛУЧЕНА!

Итак, невидимая сторона Луны сфотографирована, изображение ее передано на Землю. Оно содержит новую информацию о лунном рельефе и значительно расширяет знания о спутнике Земли.

Примерно 70% запечатленной на снимках поверхности относится к обратной стороне Луны, а остальная часть представляет западный край лунного полушария, наблюдаемого с Земли. Малая контрастность снимков объясняется тем, что фотографирование производилось в то время, когда для автоматической межпланетной станции Луна была в полнолунии и неровности лунной поверхности не давали больших теней. На многочисленных кадрах, полученных с автоматической межпланетной станции, можно увидеть много интересных деталей, никогда ранее не виданных с Земли (рис. 22).

На фотографиях, полученных с борта космической станции, можно рассмотреть не только различные образования, о существовании которых никто ничего не знал, но и определить истинную форму лунных образований, находящихся на границе видимой с Земли части Луны. Это дало возможность связать никогда не наблюдавшиеся ранее объекты с известными объектами и, таким образом, определить их координаты.

Полученные фотографии свидетельствуют о том, что Луна заметно пятниста и особенно богата впадинами лишь с одной стороны, постоянно обращенной к Земле. В этом отношении проявляется очень интересное сходство формы Луны с формой нашей планеты. Ведь Земля с единственной в своем роде впадиной Тихого океана, занимающей больше трети поверхности земного шара, также дисимметрична.

Происхождение дисимметрии небесных тел в двойной системе Земля—Луна до сих пор остается загадкой. Впадину Тихого океана некоторые ученые считали своего рода рубцом, следом увечья, нанесенного падением на Землю малой планеты. По другим предположениям впадина Тихого океана представляет собой место отделения Луны от Земли.

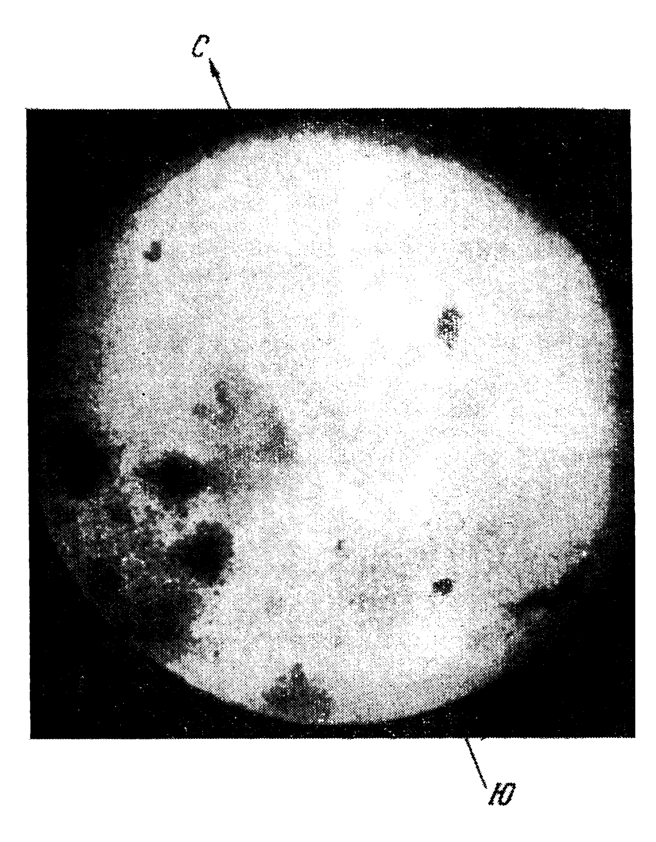


Рис. 22. Фотография обратной стороны Луны, полученная с борта автоматической межпланетной станции.

Автоматическая межпланетная станция представляла собой первую в мире астрономическую обсерваторию в космосе. Можно предполагать, что в дальнейшем будут строиться более сложные космические обсерватории для еще более детального исследования Луны, а в дальнейшем — Марса, Венеры и других планет солнечной системы. При этих исследованиях можно будет получить сведения не только о физических характеристиках межпланетной среды и небесных тел, но и фотографии небесных тел с относительно близкого расстояния. Более того, не нужно быть фантастом, чтобы высказать уве-

ренность, что уже в недалеком будущем будут создаваться не только отдельные фотографии Луны и планет, но и целые документальные фильмы, рассказывающие о строении, а возможно, и о растительном и животном мире на некоторых планетах.

Перед радиоэлектроникой в этой связи станут еще более трудные задачи: дальность, на которую придется передавать сигналы, возрастет в сотни раз, достигнув десятков миллионов километров.

Борьба за увеличение дальности телевизионной связи может при этом вестись по нескольким направлениям.

Создание в Советском Союзе все более и более мощных ракет и совершенствование источников электрического питания позволяют надеяться на увеличение мощности бортовых радиопередатчиков.

Дальность радиосвязи можно будет увеличить за счет применения на межпланетных станциях и кораблях антенн направленного действия. С целью увеличения размеров могут быть использованы надувные антенны из мягкой металлизированной материи. Направленные свойства антенн определенных геометрических размеров и конфигурации могут быть увеличены за счет повышения частоты электромагнитных колебаний, несущих информацию о передаваемых сигналах изображений.

Увеличению дальности радиосвязи будет способствовать создание антенн наземных станций с очень большими площадями зеркал.

Имеются возможности значительного повышения чувствительности радиоприемников. Так, например, значительное увеличение чувствительности может быть достигнуто за счет применения парамагнитных и молекулярных усилителей, обладающих низким уровнем собственных шумов.

Большое значение будет иметь кодирование информации и применение специальных методов передачи сигналов.

Увеличение дальности действия канала радиосвязи телевизионной системы может быть достигнуто также за счет использования космических ретрансляторов, которые могут устанавливаться на специальных межпланетных станциях или на естественных небесных телах.

Трудности передачи радиосигналов здесь очень велики, но можно быть уверенными в том, что советские ученые и инженеры сумеют решить и эту сложнейшую проблему.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 14 коп.